

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA: INGENIERÍA ELÉCTRICA

Tesis previa a la obtención del título de: INGENIERO ELÉCTRICO

TEMA:
**MODELIZACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA
BASADA EN BIOGÁS COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA**

AUTOR:
DIEGO FABRICIO ROMO LEGÑA

DIRECTOR:
ING. JUAN ALBERTO BUCHELI ÁVILA

Quito, Febrero de 2015

DECLARATORIA DE AUTORÍA:

Yo, Diego Fabricio Romo Legña autorizo a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de grado y su reproducción sin fines de lucro.

Además declaro que los conceptos y análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Quito, 28 de Febrero del 2015

.....
Diego Fabricio Romo Legña

CC: 171787861-3

AUTOR

CERTIFICA:

Haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos técnicos y analíticos del informe de la monografía, así como el funcionamiento de la “Modelización de un sistema de generación distribuida basada en biogás como fuente de energía alternativa” realizada por el Sr. Diego Fabricio Romo Legña, previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico en la Carrera de Ingeniería Eléctrica.

Por cumplir los requisitos autoriza su presentación.

Quito, 28 de Febrero del 2015

.....
Ing. Juan Alberto Bucheli Ávila
DIRECTOR

DEDICATORIA.

Diego Fabricio Romo Legña

*Este proyecto es dedicado con mucho amor a mi hijo, Felipe Sebastián Romo Haro
quien es la personita que me dio fuerzas y ánimos para seguir adelante y no desmayar
en el proceso de este trabajo, así como disculparme por utilizar el tiempo que le
correspondía de mi atención.*

*A Karina Elizabeth Haro Romero que ha sido la persona que siempre me ha tendido su
mano para seguir adelante.*

*A mis padres que me son, han sido y siempre serán mis pilares
Judith María del Carmen Legña – Gilberto Napoleón Romo Valarezo
Y a todas las personas que han contribuido en el desarrollo del mismo.*

AGRADECIMIENTOS.

Diego Fabricio Romo Legña

Agradezco a la Universidad Politécnica Salesiana institución que durante muchos años me acogió como un segundo hogar y que nos forjo como buenos seres humanos, obtener sapiencias necesarias para resolver problemas, así como tener grandes valores para la vida profesional, Al Ing. Juan Alberto Bucheli Ávila que aportó con su dedicación, conocimiento y tiempo, al dirigir este trabajo de investigación. A todos los docentes que aportaron con los conocimientos necesarios para despejar cualquier inquietud. A todos mis compañeros que fueron una ayuda moral en la elaboración académica de este proyecto

ÍNDICE

Contenido

DECLARATORIA DE AUTORÍA:	II
CERTIFICA:	III
DEDICATORIA.	IV
AGRADECIMIENTOS.	V
ÍNDICE	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS	XIV
RESUMEN	XV
ABSTRACT	XVI
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
GENERACIÓN DISTRIBUIDA	3
1.1 Generación Distribuida	3
1.1.1 Definición de generación distribuida	3
1.1.2 Puntos de aplicación	5
1.1.2.1 Generación básica	5
1.1.2.2 Demanda en horas punta o demanda pico	5
1.1.2.3 Generación aislada o remota en zonas rurales o de difícil acceso	5

1.1.2.4 Reserva o almacenamiento de energía.....	6
1.1.2.5 Sistemas CHP (combined heat and power)	6
1.1.3 Tecnología de microrredes	7
1.1.3.1 Topología de las microrredes	8
1.2 Generación distribuida en topología de microrredes distribuidas	8
1.3 Métodos de interconexión de la GD a la red de distribución	8
1.4 Biomasa, Biogás, Obtención, Almacenaje	11
1.4.1 Biomasa	11
1.4.2 Biogás	12
1.4.3 Obtención	13
1.4.3.1 Digestión aeróbica	13
1.4.3.2 Digestión anaeróbica	13
1.4.4 Almacenaje	15
1.4.4.1 Cúpula fija	15
1.4.4.2 Campana flotante.....	16
1.4.4.3 Digestores modernos	16
CAPÍTULO II.....	18
DEGRADACIÓN DE LA BIOMASA Y FACTORES PARA UTILIZACIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA	18
2.1 Ecuaciones de degradación del biogás, hacia la obtención de combustible.	18
2.1.1 Modelos matemáticos de generación de biogás	18
2.2 Ciclos útiles para la utilización de biogás.....	22
2.2.1 Ciclo Brayton.....	22
2.2.2 Ciclo Rankine	24
2.2.3 Ciclo Otto	25
2.3 Factores de pérdida en la línea de distribución.	26
2.3.1 Líneas de distribución.....	26
2.3.2 Pérdidas en línea de distribución	29

2.3.2.1 Pérdidas por efecto corona:	30
2.3.2.2 Pérdidas por corrientes parásitas e histéresis:	30
2.3.2.3 Pérdidas por efecto skin:	31
2.3.2.4 Pérdidas por efecto Joule:.....	31
2.3.2.5 Potencia	32
2.3.2.6 Potencia eléctrica.....	32
2.3.2.6 Potencia reactiva.....	32
2.4 Modelos aplicables para la generación distribuida	33
 CAPÍTULO III.....	35
 MODELIZACIÓN DEL BIOGÁS Y DE SISTEMAS DE GENERACIÓN	
DISTRIBUIDA	35
 3.1 Modelación del biogás	35
 3.2 Análisis del biogás generado hacia la obtención de energía eléctrica.....	41
 3.3 Modelización de la reducción de las pérdidas en la línea de distribución.....	44
3.3.1 Análisis de pérdidas en la línea de distribución para un sistema sin GD	46
3.3.2 Análisis de pérdidas en la línea de distribución para un sistema con GD	47
3.3.2.1 Pérdidas de la línea desde la fuente hacia la ubicación de GD.....	48
3.3.2.2 Pérdidas en la línea desde la GD hacia la ubicación de la carga	49
3.3.2.3 Pérdidas totales en la línea	51
3.3.3 Reducción de las pérdidas en la línea	51
3.3.4 Análisis de pérdidas en la línea por unidad	52
 3.4 Factor de pérdida en la línea de distribución en función del factor de potencia.	
.....	53
3.4.1 Posibilidad de retraso o adelanto del factor de potencia en la carga.	53
3.4.2 Posibilidad de retraso o adelanto del factor de potencia de la GD.	55
3.4.3 Casos de funcionamiento de los factores de potencia.	55
3.4.3.1 Ecuación reducción de pérdidas por unidad para los casos 1 y 4.....	56
3.4.3.2 Ecuación reducción de pérdidas por unidad para los casos 2 y 3.....	56

CAPÍTULO IV	62
ANÁLISIS DE RESULTADOS E INDICADORES	62
4.1 Rendimiento de un sistema de GD	62
4.1.1 Análisis de la reducción de pérdidas con carga variable.	62
4.1.2 Análisis de la reducción de pérdidas con carga variable y ubicación diferente de la GD	64
4.1.3 Análisis de la reducción de pérdidas con carga variable, ubicación diferente de la GD y diferente factor de potencia entre la carga y la GD	68
4.2 Proyección de generación eléctrica con biogás	75
4.3 Análisis comparativo con otras fuentes renovables.....	78
4.4 Impacto ambiental (Análisis de reducción de emisión de CO₂ al ambiente como reducción de impacto ambiental).....	83
CONCLUSIONES.....	88
RECOMENDACIONES.....	91
REFERENCIAS	93
ANEXOS	97
ANEXO A.....	98
PROGRAMACIÓN DE LA MODELIZACIÓN DEL BIOGÁS DE UN VERTEDERO, EFICIENCIA DE RECUPERACIÓN, Y GENERACIÓN MÁXIMA DE POTENCIA CON BIOGÁS	98
ANEXO B.....	101
PROGRAMACIÓN GRÁFICA DE LA MODELIZACIÓN DE REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS EN LA LÍNEA	101
ANEXO C.....	105

CANTIDAD DE DIÓXIDO DE CARBONO EQUIVALENTE AL UTILIZAR BIOGÁS.....	105
---	------------

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Sistemas de Generación Convencional y Generación Distribuida.....	4
Figura 1.2: Esquema de Operación de la Generación Distribuida.....	7
Figura 1.3: Proceso de una Planta de Generación Eléctrica.	9
Figura 1.5: Estándar de Interconexión con Recursos Distribuidos	11
Figura 1.6: Clasificación Tipos de Biomasa	12
Figura 1.7: Proceso de Conversión de los Residuos a la Obtención de Energía	13
Figura 1.8: Conversión de la Glucosa a Etanol	14
Figura 1.9: Proceso de descomposición de la Glucosa.....	14
Figura 1.10: Digestor Tipo Cúpula Fija	15
Figura 1.11: Digestor Tipo Campana Flotante	16
Figura 1.12: Digestores Modernos	17
Figura 2.1: Motor de turbina de gas a ciclo abierto.....	23
Figura 2.2: Motor de turbina de gas a ciclo cerrado.....	24
Figura 2.3: Máquina de Vapor (ciclo de Rankine).....	25
Figura 2.4: Motor encendido por chispa de cuatro tiempos	26
Figura 2.5: Esquema Sistema Eléctrico de Potencia Distancia Corta	27
Figura 2.6a: Factor de Potencia en Retardo	28
Figura 2.6b: Factor de Potencia sin Desfase	28
Figura 2.6c: Factor de Potencia en Adelanto	29
Figura 2.7: Factores que incurren en las pérdidas técnicas.	30
Figura 2.8: Triángulo de Potencia, Mayor Potencia Reactiva, Mayor Pérdidas de Potencia	33
Figura 3.1: Generación de Biogás Caso 1	37
Figura 3.2: Fase 1 Generación de Biogás Degradación de Residuos	38
Figura 3.3: Fase 2 Generación de Biogás Decaimiento del Biogás.....	38
Figura 3.4: Generación de Biogás con condiciones altas de degradación	39
Figura 3.5: Generación de biogás con condiciones medias + el ingreso de desechos hasta un tiempo 1 ..	40
Figura 3.6: Generación biogás con condiciones semireales + el ingreso de RSU hasta un tiempo t1	41
Figura 3.7a: Sistema eléctrico sin el ingreso de GD	45
Figura 3.7b: Sistema eléctrico con el ingreso de GD	45
Figura 3.8: Pérdidas de línea con el ingreso de la GD	48
Figura 3.9: Modelamiento de las Ecuaciones.....	57
Figura 3.10: Porcentaje de Reducción de Pérdidas Ecuación 1	58
Figura 3.11: Porcentaje de Reducción de Pérdidas Ecuación 2	58
Figura 3.12: Reducción de la Pérdidas Variando la Ubicación de la GD Ecuación 1	59
Figura 3.13: Reducción de la Pérdidas Variando la Ubicación de la GD Ecuación 2	60
Figura 3.14: Relación de Reducción de Pérdidas de la Ecuación 4.33 vs Ecuación 4.34	61
Figura 4.1: Sistema eléctrico con el ingreso de GD a una carga variable	62
Figura 4.2: Comportamiento de reducción de pérdidas con carga variable para ecuación 4.33	64

Figura 4.3: Comportamiento de reducción de pérdidas con carga variable para ecuación 4.34.....	64
Figura 4.4: SEP con el ingreso de GD en diferentes ubicaciones a una carga variable.....	65
Figura 4.5: Comportamiento de reducción de pérdidas resultado 1 caso 2 (subcapítulo 4.1.2)	66
Figura 4.6: Comportamiento de reducción de pérdidas resultado 2 caso 2 (subcapítulo 4.1.2).	67
Figura 4.7: Comportamiento de reducción de pérdidas resultado 3 caso 2 (subcapítulo 4.1.2).	67
Figura 4.8: Comportamiento de reducción de pérdidas resultado 4 caso 2 (subcapítulo 4.1.2).	68
Figura 4.9: SEP con el ingreso de GD, diferente ubicación y distinto FP entre la carga y GD.....	69
Figura 4.10: Comportamiento de reducción de pérdidas resultado 1 caso 3 (subcapítulo 4.1.3).	70
Figura 4.11: Comportamiento de reducción de pérdidas resultado 2 caso 3 (subcapítulo 4.1.3).	70
Figura 4.12: Comportamiento de reducción de pérdidas resultado 3 caso 3 (subcapítulo 4.1.3).	71
Figura 4.13: Comportamiento de reducción de pérdidas resultado 4 caso 3 (subcapítulo 4.1.3).	72
Figura 4.14: Comportamiento de reducción de pérdidas resultado 5 caso 3 (subcapítulo 4.1.3).	73
Figura 4.15: Comportamiento de reducción de pérdidas resultado 6 caso 3 (subcapítulo 4.1.3).	73
Figura 4.16: Comportamiento de reducción de pérdidas resultado 7 caso 3 (subcapítulo 4.1.3).	74
Figura 4.17 Comportamiento de reducción de pérdidas resultado 8 caso 3 (subcapítulo 4.1.3).....	75
Figura 4.18: Biogás estimado vs biogás recuperado del vertedero	76
Figura 4.19: Generación máxima con una MCI, recuperación de biogás del 50%,75%,85%.....	77
Figura 4.20: Generación máxima ciclo combinado, y recuperación de biogás del 50%,75%,85%	77
Figura 4.21: Generación máxima microturbinas, y recuperación de biogás del 50%,75%,85%.....	78
Figura 4.22: Área del Biogás estimado	79
Figura 4.23: Comparación entre fuentes renovables	83
Figura 4.24: Cuadro en barras de emisión de CO ² al ambiente de cada combustible	86
Figura 4.25: Pastel en porcentaje de la emisión de CO ² al ambiente	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Variables Dependientes – Independientes para la generación de Biogás	36
Tabla 3.2: Valores Constantes de k y Lo	36
Tabla 3.3: Elementos químicos que contiene el biogás en porcentaje de concentración	42
Tabla 3.4: Poder Calorífico Inferior del Metano	43
Tabla 3.5: Casos de Funcionamiento de la GD y del carga	56
Tabla 4.1: Potencia generada para cada máquina motriz.....	78
Tabla 4.2: Emisión de CO ₂ por combustible	84
Tabla 4.3: Densidad de los combustibles.....	84
Tabla 4.4: Masa de los combustibles con el mismo volumen de combustible	85
Tabla 4.5: Toneladas emitidas de CO ₂ al ambiente de cada combustible.....	85
Tabla 4.6: Toneladas emitidas de CO ₂ al ambiente de cada combustible en porcentaje	86
Tabla 4.7: Cantidad Equivalente de CO ₂ por año al utilizar biogás como combustible	106

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	98
PROGRAMACIÓN DE LA MODELIZACIÓN DEL BIOGÁS DE UN VERTEDERO, EFICIENCIA DE RECUPERACIÓN, Y GENERACIÓN MÁXIMA DE POTENCIA CON BIOGÁS	98
ANEXO B	101
PROGRAMACIÓN GRÁFICA DE LA MODELIZACIÓN DE REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS EN LA LÍNEA	101
ANEXO C	105
CANTIDAD DE DIÓXIDO DE CARBONO EQUIVALENTE AL UTILIZAR BIOGÁS	105

Resumen

“Modelización de un Sistema de Generación Distribuida Basada en Biogás Como Fuente de Energía Alternativa”

Diego Fabricio Romo Legña

diego_romo20983@hotmail.com

Universidad Politécnica Salesiana

Resumen—El presente proyecto de tesis desarrolla los modelos que permitan el estudio del uso del biogás generado en un vertedero, para la utilización fuente de combustible en máquinas motrices hábiles para la utilización de biogás hacia la producción de energía eléctrica, para ser utilizado en un enfoque de generación distribuida buscando la optimización de la red de distribución para la reducción de pérdidas en línea, los modelos son programados y presentados en la herramienta informática *MATLAB*; primero se modela la estimación del biogás mediante ecuaciones de degradación de los residuos sólidos urbanos alojados en un vertedero, seguido se analiza la calidad de combustible para la utilización en una maquina motriz y determinar la más adecuada para la utilización de generación eléctrica, una vez concluido se realiza una modelación para la reducción de pérdidas en la línea con la utilización de generación distribuida, por último se realiza un análisis comparativo de la emisión de gases contaminantes al ambiente.

Índice de Términos— Generación Distribuida, Biogás, Maquina Motriz para la Obtención de Energía Eléctrica, Líneas de Distribución.

Abstract

“Modelling of Distributed Generation System Based on Biogas As Alternative Energy Source”

Diego Fabricio Romo Legña

diego_romo20983@hotmail.com

Salesian Polytechnic University

Abstract—The present thesis project develops models to study the use of biogas generated in a landfill, the fuel source for use in motors working for the use of biogas to produce electricity, to be used in a distributed generation approach seeking to optimize the distribution network for reducing line losses, the models are programmed and presented in the MATLAB software tool; first estimation of biogas is modeled by equations degradation, hosted on a municipal solid waste landfill, followed fuel quality is analyzed using a driving machine and determine the most appropriate for use in power generation, once completed one modeling to reduce line losses with the use of distributed generation makes finally a comparative analysis of the emission of polluting gases into the environment is made.

Index Terms— Distributed Generation, Biogas, Used Motor to Get Electric Power, Distribution Lines.

INTRODUCCIÓN

Como cambio principal de la Matriz Energética, el Plan de Expansión de Energía del Plan Maestro de Electrificación (PME), la propuesta del desaparecido CONELEC así como del Ministerio de Electricidad y Energía Renovables (MEER) buscan el uso de recursos renovables no convencionales (ERNC), para la generación eléctrica con el fin de disminuir la dependencia de los combustibles fósiles. Ya que durante muchos años este fue el principal eje en muchas de las plantas de generación, sin tomar en cuenta los efectos colaterales que produjo utilizar este tipo de combustible, como el encarecimiento en los valores del kilovatio hora (kW/h) hacia el usuario final, la alta contaminación a causa de gases nocivos emitidas por estas plantas generadoras, y la afección al ambiente y al ser humano.

Varias opciones se manejan hoy en día para el uso de generación eléctrica como son: solar, eólica, biomasa – biogás, geotérmica, pequeñas centrales hidráulicas. Una de las opciones más viables para el uso de estos recursos a baja y mediana escala, es el uso de Generación Distribuida (GD), ya que el uso de este escenario aunque no es nuevo ni revolucionario es una tecnología olvidada ya que en los principios de la generación se la realizaba de esta manera. Tomando en cuenta que la GD cerca del punto de consumo es más eficiente, ya que mejora el nivel de voltaje, inyecta potencia requerida por la carga de consumo y que las centrales convencionales no lo logran de manera eficiente, ayuda a mantener la calidad de energía, disminuye el índice de interrupciones de servicio, disminuye la potencia reactiva.

Podemos aprovechar los recursos que tenemos cerca para la utilización de generación eléctrica, viendo el potencial existente en nuestro entorno, sin causar gran impacto nocivo al ambiente, como puede ser el uso de paneles solares si tenemos un potencial solar aprovechable, o el uso de aerogeneradores si tenemos un alto índice de ráfagas de viento.

El presente trabajo busca utilizar un recurso que se genera día tras día, en todas las urbes de un país ya sea un poblado económicamente más grande a comparación de otro económicamente más bajo, este recurso es la basura urbana que se genera al realizar

cualquier actividad productiva, tomando en cuenta que esta basura no se le da un tratamiento correcto para optimizar la energía que podamos extraer de él, sino son colocados en los llamados botaderos a cielo abierto o vertederos.

Durante muchos años se ha depositado basura en estos sitios y muchos de ellos se encuentran colapsados por la alta cantidad de basura almacenada, sin darnos cuenta que tenemos un potencial alto de energía que puede ser aprovechable, este potencial es el biogás el cual es el resultado de la degradación de la biomasa, se estudia el uso de biogás para ser utilizado en máquinas motrices como fuente de combustible y así poder reemplazar los combustibles convencionales, en los generadores de energía en potencia de baja y mediana escala útiles para la GD.

Uno de los puntos de análisis de la GD es optimizar las redes de distribución, ya que durante muchos años han tenido un crecimiento desmedido sin una planificación técnica, lo que ha causado la saturación de la red en unos casos o instalaciones muy alejadas desde el punto de emisión de la energía hasta el punto de consumo, en cualquiera de los dos casos se tiene un efecto colateral que son las pérdidas en las líneas de distribución. En el primer punto una red sobrecarga va tener pérdidas por efecto de calentamiento debido a la gran cantidad de potencia que demanda la carga, en el segundo caso dan pérdidas debido a la gran distancia que deben recorrer las corrientes hasta el punto de consumo, sin darnos cuenta que la gran distancia hace que la resistencia del conductor aumente dependiendo de la distancia y por ende generar pérdidas al igual por calentamiento.

Razón por la cual se busca la utilización de la GD con la ayuda de un análisis matemático para reducir las pérdidas en la línea al ingresar GD en las líneas de distribución, así como ayudar al ecosistema a disminuir la cantidad de gases nocivos emitidos por los combustibles tradicionales.

CAPÍTULO I

GENERACIÓN DISTRIBUIDA

1.1 Generación Distribuida

1.1.1 Definición de generación distribuida

La Generación Distribuida (GD) representa un cambio importante en la generación centralizada o convencional, los conceptos de GD no son nuevos ya que en un inicio la generación eléctrica se desarrollaba lo más cerca al sitio de consumo, pero es debido al crecimiento de la población y la demanda eléctrica lo que promueve que la generación eléctrica busque y se instale cerca de las fuentes o recursos primarios de energía, para aprovecharlos en generación a gran escala como son las refinerías de combustible, minas de carbón vegetal, gas natural, y principalmente cerca de los grandes afluentes de agua que aportan a la mayor parte de la generación eléctrica.

Otro aspecto que favoreció la instalación de la generación eléctrica cerca de las fuentes mayoritarias de energía, fue la ayuda de nuevas tecnologías, con lo que se logró el transporte de energía a grandes distancias, mediante la elevación de los voltajes en lado de la generación, y bajo este escenario el concepto de GD se perdió. Pero es debido al uso excesivo de los combustibles fósiles, el cambio climático y la alta tasa de crecimiento de la demanda eléctrica a nivel mundial que, se planteó la necesidad de asegurar el suministro y la calidad de energía, así como el ahorro y el uso eficiente de los recursos naturales, retomando la idea de la generación lo más cerca al punto de consumo aprovechando las nuevas tecnologías, esta característica se la conoce como Generación In-Situ, dispersa o comúnmente Generación Distribuida.[1][2]

No existe un concepto específico de la GD, pero varias entidades internacionales la definen como:

Producción de energía cerca de las instalaciones de los consumidores o directamente en las instalaciones de las empresas distribuidoras ya sea en baja tensión (BT) o media tensión (MT), por lo general viene asociado con generadoras de menor tamaño que las

convencionales en rangos de potencias de 3 y 10000 kilo vatios (kW), o en algunas circunstancias decenas de mega vatios (MW). Estos valores dependen de las reguladoras del sector eléctrico de cada país, también se considera GD a los valores de potencia fuera de los rangos establecidos ya que el consumo se da directamente en la carga.

El enfoque principal que tiene hoy en día la GD es la utilización recursos o de fuentes de energía renovable (ER) como son eólica, solar, pilas de combustible, biomasa – biogás, mini y micro hidráulica, para que ayuden a mejorar el sistema eléctrico convencional o tradicional.[3][4][5][6]

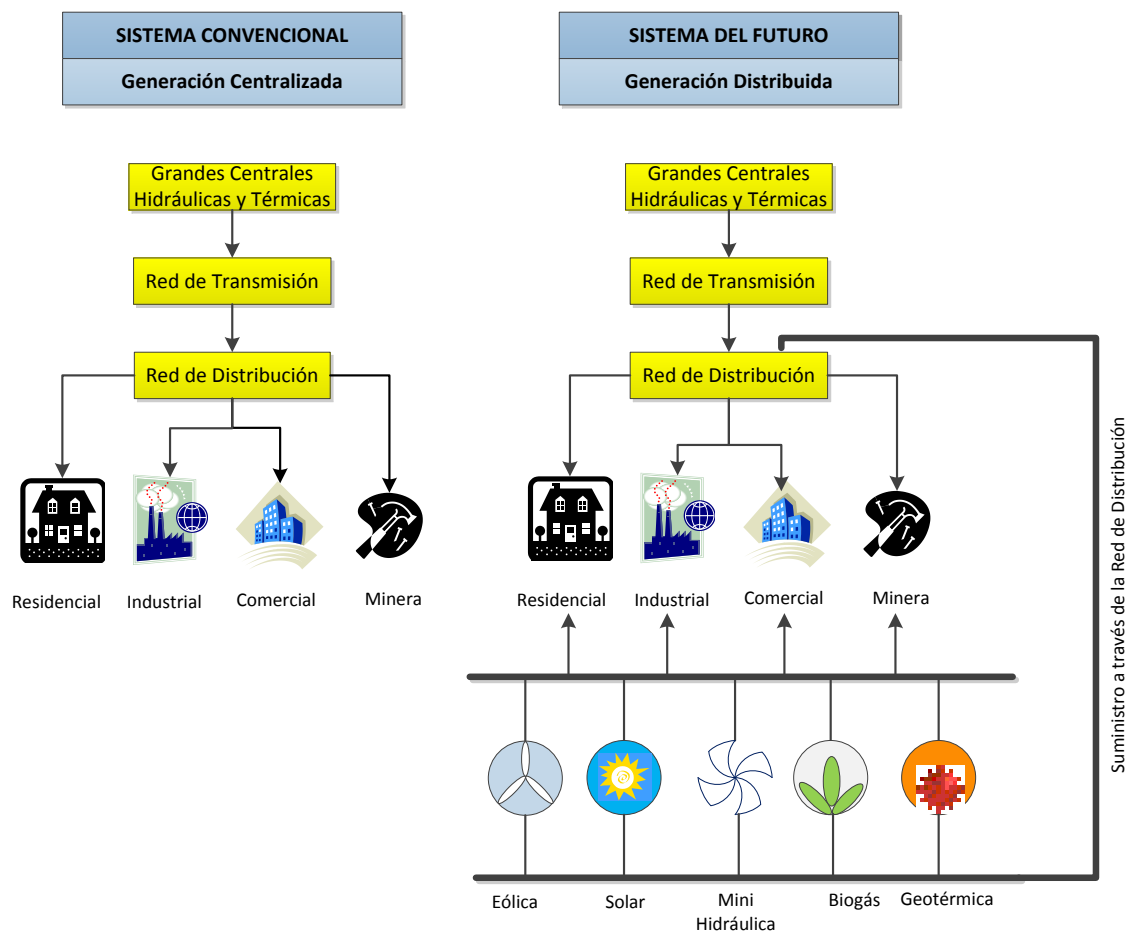


Figura 1.1: Sistemas de Generación Convencional y Generación Distribuida

FUENTE: AUTOR

1.1.2 Puntos de aplicación

Los puntos de aplicación de la GD más comunes van desde la generación básica, demanda en horas punta o demanda pico, generación aislada o remota en zonas rurales o de difícil acceso, reserva o almacenamiento de energía, sistemas de cogeneración CHP (combined heat and power).[4]

1.1.2.1 Generación básica

La generación básica ayuda a reducir las pérdidas de potencia y aumentar la calidad de energía con el ingreso de la GD, mediante el aumento del nivel de voltaje que se está suministrando a la red de distribución, en estos casos las generadoras de energía son propiedad de estas mismas entidades reguladoras, las cuales realizan su generación de manera continua, con un mismo enfoque también se puede considerar como un soporte de energía a la red ya sea en forma eventual o periódica debido al alto consumo de energía en diferentes épocas del año, o por fallas en la red de distribución.

1.1.2.2 Demanda en horas punta o demanda pico

La demanda de energía solicitada por las fábricas e industrias de gran envergadura o también llamados grandes clientes, en horas pico o en horas punta tiene un coste elevado de energía suministrada, razón por lo cual se busca métodos para reducir el consumo de energía eléctrica de la red de distribución de una empresa eléctrica distribuidora, en las horas donde la energía consumida de manera masiva es por la mayor parte de usuarios conectados a esa red de distribución. Una de las alternativas que se plantean hoy en día es el ingreso de GD para disminuir o reducir los costes de energía entregada en esas horas, lo que ayuda a que las industrias al momento de la facturación de energía consumida en horas pico o en horas punta sea menor versus la facturación de energía al no utilizar GD.[4]

1.1.2.3 Generación aislada o remota en zonas rurales o de difícil acceso

Se utiliza la GD en este tipo de escenario ya que en algunos sectores ya sean aislados, remotos, rurales o de difícil acceso, los usuarios no disponen de una red de distribución, que debe ser provista por las empresas eléctricas distribuidoras. Pero estos sectores al estar fuera del área de concesión o por problemas técnicos como puede ser falta de

capacidad de suministro de energía eléctrica, así como la baja carga de energía demandada por estos sectores, no justifica la implementación de una nueva red de distribución, ya que el costo de su implementación es demasiado alto.

Por lo cual la GD ayuda a la inclusión eléctrica de estos sectores viendo sus aplicaciones en iluminación, calefacción, comunicación, pequeños procesos industriales, aumento del comercio. y estatus socio – económico.[4]

1.1.2.4 Reserva o almacenamiento de energía

Para la utilización de esta alternativa con GD, se debe considerar si la carga en donde se está suministrando energía eléctrica sufre de problemas, como interrupciones frecuentes de servicio o si el consumo de energía es utilizado para cargas de índole variable (industrias – fábricas), o esenciales (centros médicos u hospitales) donde el suministro de energía debe ser constante y continuo, por lo que una de las alternativas para asegurar este abastecimiento es la aplicación de la reserva de energía.

Un punto de análisis para el almacenamiento o reserva de energía es aprovechar las fuentes de ER, dado que hay sectores en donde se tiene abundancia de recursos en las diferentes estaciones del año, es en este punto donde se debe considerar esa abundancia para el almacenaje de energía, por lo general de potencial solar – eólico, y en períodos en donde existe carencia de recursos para generación eléctrica, se puede suministrar la energía almacenada las diferentes cargas necesarias.[4]

1.1.2.5 Sistemas CHP (combined heat and power)

Los sistemas CHP más conocidos como sistemas de combinación de calor y energía, están siendo usados en la actualidad para generar energía eléctrica o mecánica, gracias a la generación simultánea o secuencial en sistema único integrado. Debido a esta ventaja de cogeneración en los sistemas CHP, se está explorando la utilización de este sistema en GD ya que son capaces de quemar una gran variedad de combustibles (biomasa – biogás, gas natural, o carbón), para producir energía eléctrica el cual es un subproducto de la generación de calor en las turbinas de vapor.

Similar al escenario de reserva o almacenamiento de energía se utiliza para aplicaciones como: hospitales, zonas residenciales, superficies comerciales y procesos industriales.

1.1.3 Tecnología de microrredes

La tecnología de las microrredes se trata de pequeños pero consolidados sistemas inteligentes de distribución eléctrica, los cuales tienen la particularidad que pueden trabajar directamente a la carga, sin necesidad de estar enlazados o conectados a la red de distribución eléctrica, pero no se descarta la interconexión con la misma, con lo que se reduce la dependencia de una red primaria de servicio otorgada por una empresa eléctrica distribuidora convencional.

Las microrredes se enfocan en establecerse como repúblicas independientes de energía principalmente con el uso de: energías renovables, sistemas de almacenamiento de energía o sistemas de alta eficiencia, tomando en cuenta que este sistema presta mejor calidad de energía por regulación de voltaje, aumento de la eficiencia cuando se trabaja en conjunto, incremento de la fiabilidad, disminución de índices de energía eléctrica no suministrada debido a fallos en la red de distribución, así como un aporte significativo a la disminución de impacto ambiental debido al menor uso energético de los sistemas convencionales, y sin descartar que las microrredes también pueden suministrar energía térmica. Por ello se considera que no existe alguna barrera técnica que impida su instalación, pero si una barrera y vacíos tanto regulatorios, legislativos – económicos que impiden su generalización.[7]



Figura 1.2: Esquema de Operación de la Generación Distribuida

FUENTE: FENERCOM, Guía Básica de la Generación Distribuida. Madrid: Gráficas Elisa S.A

1.1.3.1 Topología de las microrredes

La topología que hace relación al funcionamiento de las microrredes es la configuración del tipo isla, a la cual se define como una porción de un sistema eléctrico el cual es energizado por uno o más sistemas locales a través de puntos de conexión y que su funcionamiento de trabajo es independiente del sistema de distribución de una empresa eléctrica distribuidora, este tipo de configuración tiene dos aspectos, configuración isla intencional y de configuración isla no intencional.

- **Isla intencional:** se define como intencional, ya que su configuración es planeada para la operación establecida por alguna empresa eléctrica distribuidora.
- **Isla no intencional:** en estos casos su operación no es planeada y por lo general es para uso particular.

Adicional del tipo de conexión también se puede establecer que cada configuración tiene su tipología y depende principalmente del tipo de red, ya sea de corriente continua (CC), corriente alterna (AC), y en los sistemas de corriente alterna pueden ser monofásicos o trifásicos en niveles de baja o media tensión.

1.2 Generación distribuida en topología de microrredes distribuidas

Se puede definir a las microrredes como un conjunto de sistemas de GD, como ya se mencionó antes, esta generación está enfocada al uso de energías renovables (ER's).

Para asegurar el suministro de energía en una topología de microrredes con ER's se utiliza la GD en dos etapas, la primera etapa debe tener una generación continua como la biomasa – biogás y/o geotérmica, la segunda etapa consiste en sistemas de generación intermitentes como: solar, eólica, mini hidráulica.

La primera o generación continua sirve para tener una generación base que se utiliza en el gran consumo de energía, en cambio la segunda puede ser utilizada para el momento de las horas pico o en utilización de consumo puntual como son los sistemas de alumbrado público y que solo se utilizan en horario nocturno.

1.3 Métodos de interconexión de la GD a la red de distribución

Para poder interconectar la GD a la red de distribución de cualquier empresa eléctrica

distribuidora se necesita establecer algunas condiciones que faciliten cualquier tipo de eventualidad ya sea de compra o venta de energía eléctrica, también saber sobrellevar las condiciones que se den al momento de realizar las maniobras de conexión y desconexión a la red de distribución, tomando en cuenta que muchos equipos de GD pueden operar de manera paralela al sistema.

Los métodos de interconexión son las reglas que deben contener cada uno de los proveedores de energía para poder realizar la interconexión al sistema de distribución, para lo cual se necesita tener a disposición información relevante y actualizada del sistema de GD. También entender como es el proceso de una planta de generación los cual son el arranque, la sincronización, la interconexión, la operación y desconexión, de la red de distribución.

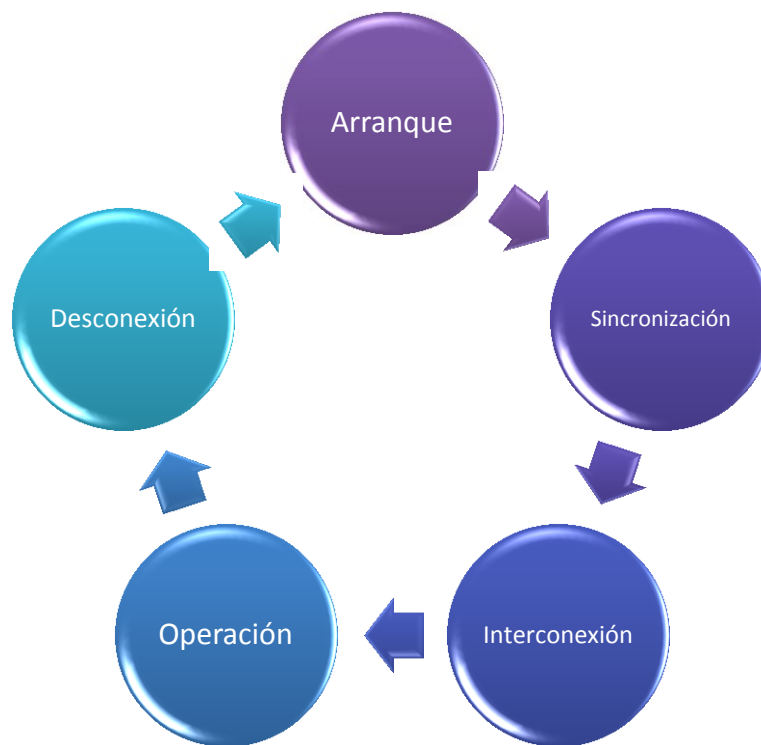


Figura 1.3 Proceso de una Planta de Generación Eléctrica.

Fuente: AUTOR

Otros datos que se necesita es la información operativa (planificación, estadísticas, predicción de la demanda, mantenimiento, disponibilidad de servicio), información técnica (regulación de voltaje o tensión, integración de las puestas a tierra de la red de distribución, desconexión del sistema ante interrupciones, sincronización, armónicos generados por la GD, factor de potencia, potencia reactiva, potencia activa), parte física de la interconexión (hardware y software), así como un análisis de la complejidad que

dependerá del nivel de interacción del sistema de GD a la red de distribución.[8][9]

Nivel de interacción:

- GD como fuente principal de energía para compra de energía en horas pico del sistema de distribución.
- GD como fuente de exportación de energía para abastecer al mercado eléctrico mayorista.
- GD como sistema de apoyo de fiabilidad al sistema con fuentes de energía alternativa.

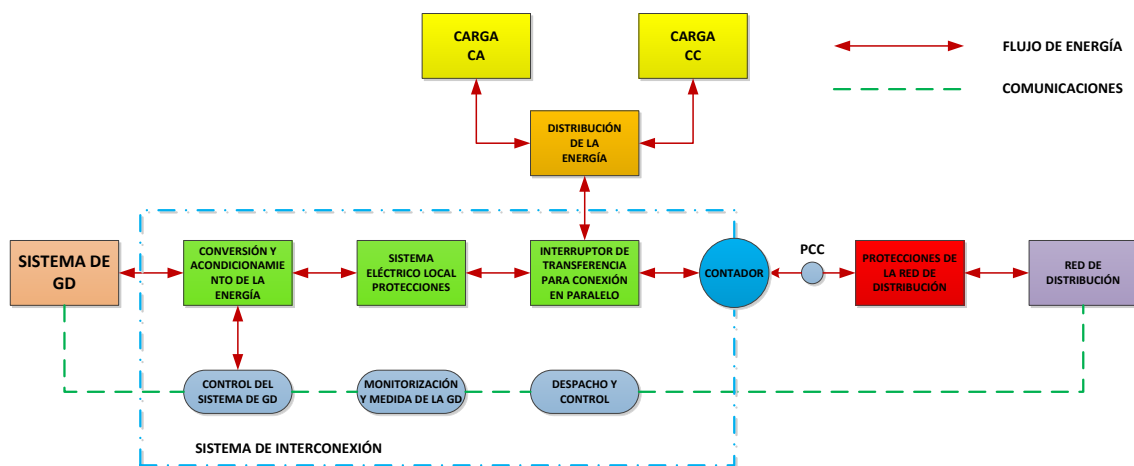


Figura 1.4: Esquema de Interconexión de la Generación Distribuida a la Red

Fuente: AUTOR

Aunque se define algunos parámetros en los párrafos anteriores para la interconexión es imperativo establecer estándares mínimos que aseguren un método universal de interconexión y aseguren el buen funcionamiento en el punto común de acoplamiento (PCC) de la GD con la red de distribución, para lo cual la IEEE (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica) establece la normativa para la interconexión de sistemas de GD con recursos energéticos dispersos hacia la red de distribución como es la IEEE P1547 (Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems).[10][11]

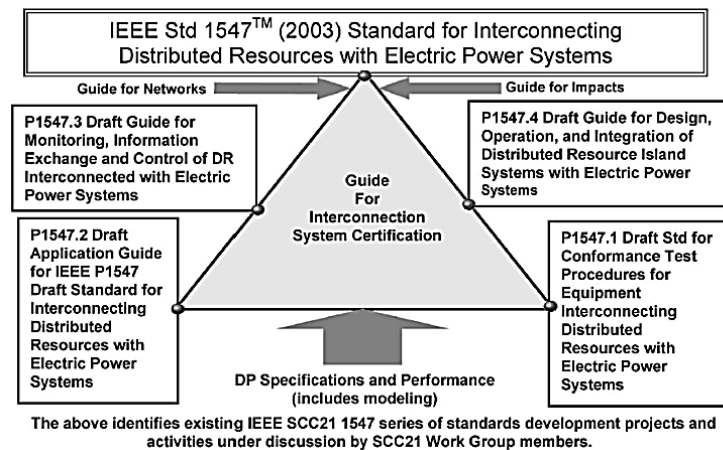


Figura 1.5: Estándar de Interconexión con Recursos Distribuidos

Fuente: T. Basso and R. DeBlasio, "IEEE 1547 series of standards: interconnection issues," Power Electron. IEEE Trans., vol. 19, no. 5, pp. 1159–1162, 2004.

1.4 Biomasa, Biogás, Obtención, Almacenaje

1.4.1 Biomasa

Se puede definir a la biomasa como la cantidad de materia orgánica la cual se caracteriza de manera heterogénea, por su origen como por su naturaleza y que toda la materia que la conforma tiene una cantidad de energía que puede ser transformada mediante procesos biológicos, ya sean estos de manera espontánea o de manera provocada y se debe considerar a esta energía como energía química ya que tiene potencial de energía almacenada y ésta puede ser sustituto coadyuvante de combustibles fósiles.

La mayor parte de materia orgánica es originada por una población o por un ecosistema, ya sean estos de cultivos, granjas, desechos o residuos forestales, así como los residuos que se generan de manera, urbana, industrial y aguas residuales..., tomando en cuenta que no toda esta materia es útil para la utilización de manera energética. Entre los más representativos tenemos los residuos como caña de azúcar, remolacha, residuos agrícolas, forestales, ganaderos, urbanos lodos de depuradoras y computadoras.

A la biomasa se lo puede clasificar de acuerdo a la fuente de generación como son:[12][13]

- **Natural:** son aquellas que provienen de explotaciones forestales y que los residuos no pueden ser utilizados para bienes de servicios, pero tienen un alto

poder energético y por lo general este tipo de residuo se lo puede considerar como biomasa de origen seco.

- **Residual:** es aquella principalmente que se genera de los desechos en las zonas urbanas, así como también de los desecho de granjas, mataderos, etc., y a este tipo de biomasa se la considera de origen húmedo.

Existen diferentes procesos para poder extraer la energía que contiene la biomasa tanto de origen seco o húmedo.

Para extraer la energía de los residuos de origen seco entre las más conocidos y las de mayor utilización son los procesos: termoquímicos, combustión, pirolisis, gasificación, y para extraer la energía contenida en los residuos de origen húmedo se utilizan diferentes procesos bioquímicos, como la fermentación anaerobia y la fermentación alcohólica.[13]

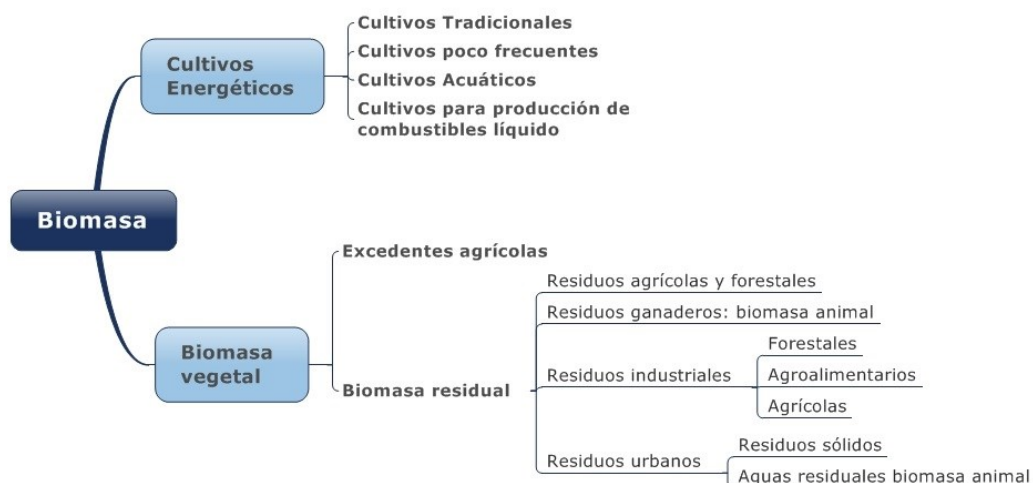


Figura 1.6: Clasificación Tipos de Biomasa

Fuente: AUTOR

1.4.2 Biogás

El biogás resulta del tratamiento o proceso químico – biológico en ausencia de oxígeno por acción de microorganismos y otros factores que se realiza a la materia orgánica o biodegradable conocida como biomasa, el resultado de este proceso es una mezcla gaseosa formada principalmente de Metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) al igual que varias impurezas los cuales dependen del material orgánico con el que fue producido, otro resultado de la descomposición de la biomasa puede ser usada como

acondicionador del suelo o abono genérico, otros gases que se producen en la obtención de biogás son Hidrógeno (H_2), Nitrógeno (N_2), Oxígeno (O_2) y Sulfuro de Hidrógeno (H_2S).[12][14][13]

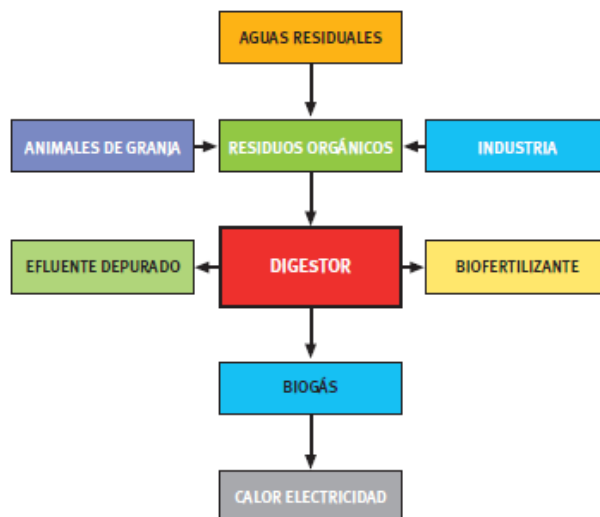


Figura 1.7: Proceso de Conversión de los Residuos a la Obtención de Energía

Fuente: BESEL, IDAE, Biomasa: Digestores Anaerobios. 2007, p. 48.

1.4.3 Obtención

Los procesos que hoy en día se utilizan para el desarrollo del biogás son los procesos de biodigestión: digestión aeróbica, digestión anaeróbica.[13]

1.4.3.1 Digestión aeróbica

Proceso que se realiza a la materia orgánica mediante la utilización de bacterias y protozoos pero sin que se pueda utilizar el biogás generado en este proceso ya que su concentración de CH_4 es baja para la utilización de manera energética.[13]

1.4.3.2 Digestión anaeróbica

Es un proceso biológico complejo a diferencia de la digestión aeróbica. El proceso anaeróbico utiliza principalmente los residuos animales y vegetales que son convertidos en biogás, con la ayuda de bacterias que son sensibles en presencia de O_2 , en este proceso la energía disponible es aprovechada y transformada en CH_4 en más del 90% y el 10% restante es consumido en el crecimiento bacteriano. Este proceso o digestión

anaeróbico se clasifica en fermentación y respiración anaeróbica.[13]

1.4.3.2.1 Fermentación anaeróbica

La fermentación anaeróbica descompone la materia mediante la utilización de microorganismos para realizar reacciones de óxido – reducción, bajo condiciones de oscuridad. En este proceso dos tercios del CH_4 se producen mediante la fermentación anaeróbica al que se conoce comúnmente como metanogénesis acetotrófica, el cual es principalmente es utilizado para la recuperación de biocombustibles.[13]

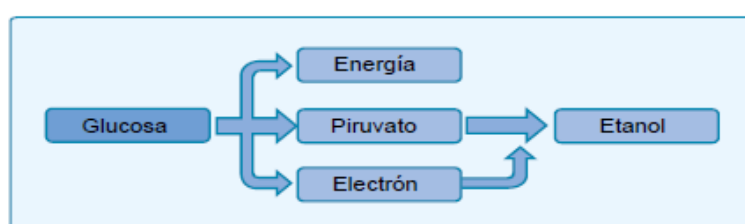


Figura 1.8: Conversión de la Glucosa a Etanol

Fuente: M. de Energía, “Manual de Biogás,” vol. 1, p. 119, 2011.

1.4.3.2.2 Respiración anaeróbica

La respiración anaeróbica es un proceso biológico de óxido – reducción a diferencia de la fermentación anaeróbica este proceso no utiliza moléculas de O_2 , los cuales pueden ser CO_2 , SO_4^{2-} o NO_3 y la producción de CH_4 corresponde a un tercio de la producción total de CH_4 , a este proceso se le conoce como metanogénesis hidrogenotrófica.[13]

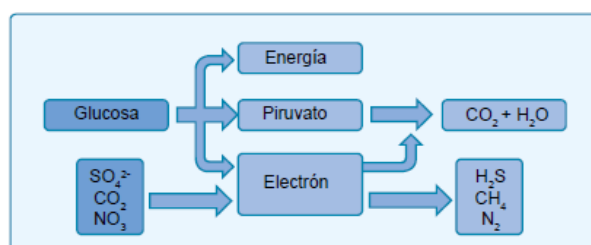


Figura 1.9: Proceso de descomposición de la Glucosa

Fuente: M. de Energía, “Manual de Biogás,” vol. 1, p. 119, 2011.

1.4.4 Almacenaje

Los sistemas de almacenaje son también llamados digestores, en el interior de estos depósitos es donde se realiza la producción de biogás, entonces se puede deducir que los digestores sirven para la producción y almacenamiento de biogás.

Existen varios tipos de digestores los cuales se adaptan a las necesidades y variantes que se desee, tomando en cuenta el volumen y material empleado, estos digestores pueden ser: de superficie tipo campana, cilíndrica o abovedada, desde los cuales se extrae el gas producido mediante mangueras y tuberías, los mismos que pueden ser clasificados por su diseño, las de tipo balón, cúpula fija y de campana flotante y de acuerdo al proceso de carga del residual de la planta se distinguen en plantas continuas, o plantas Batch.

A todos los sistemas antes mencionados se los considera como digestores convencionales analizando que estos sistemas tienen una eficiencia media baja y que generalmente son usados para la elaboración de bioabono, a comparación de los digestores modernos que dependen de agentes externos o acelerantes que mejoran la generación de biogás los digestores convencionales sus paredes están hechas de hormigón, ejemplos:[13]

1.4.4.1 Cúpula fija

“En este tipo de digestor se generan entre 0.15 y 0.20 volúmenes de gas por volumen de digestor/día.[13]

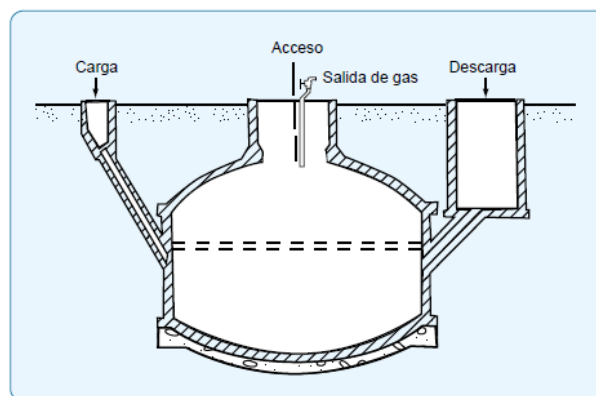


Figura 1.10: Digestor Tipo Cúpula Fija

Fuente: M. de Energía, “Manual de Biogás,” vol. 1, p. 119, 2011.

1.4.4.2 Campana flotante

“Este tipo de digestor presenta una buena eficiencia de producción de biogás, generándose entre 0.5 y 1,0 volumen de gas por volumen de digestor por día.”[13]

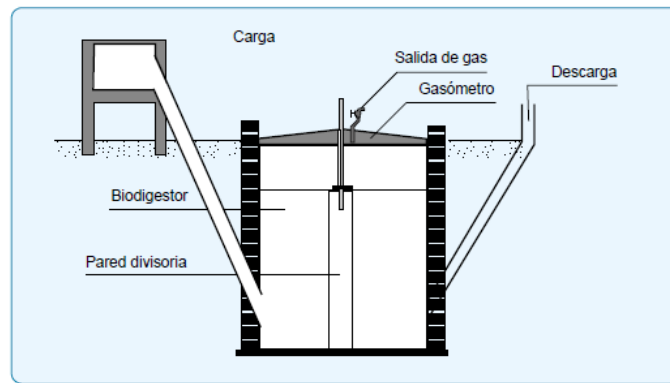


Figura 1.11: Digestor Tipo Campana Flotante

Fuente: M. de Energía, “Manual de Biogás,” vol. 1, p. 119, 2011.

1.4.4.3 Digestores modernos

Los digestores modernos no son más que los mismos digestores convencionales, en los cuales se realiza un proceso organizado para la generación del biogás, los cuales van desde clasificar la basura que va ingresar al digestor (grandes recipiente metálicos) de tal manera que tenga un alto índice o porcentaje de desechos orgánicos para una degradación rápida de la biomasa en biogás.

Otra de las diferencias son los procesos automatizados al que se somete la basura orgánica o biomasa en las que intervienen agentes externos como son acelerantes orgánicos (fermentación anaeróbica), manejo controlado de precipitación de agua, manejo controlado de oxígeno o de gases que aceleren el comportamiento de las bacterias que descomponen la biomasa en biogás, control riguroso de temperatura, agitadores motorizados controlados por ordenador, medidores de concentración para verificar que exista más CH_4 que CO_2 y sea útil como combustible, así como gasómetros de presión para saber dispone de volumen de biogás útil, estos dos parámetros indican que la cantidad de materia orgánica depositada se ha transformado en biogás, en este punto se extrae el biogás para evitar que se consuma por sí mismo este análisis lo abordaremos en el capítulo 3.

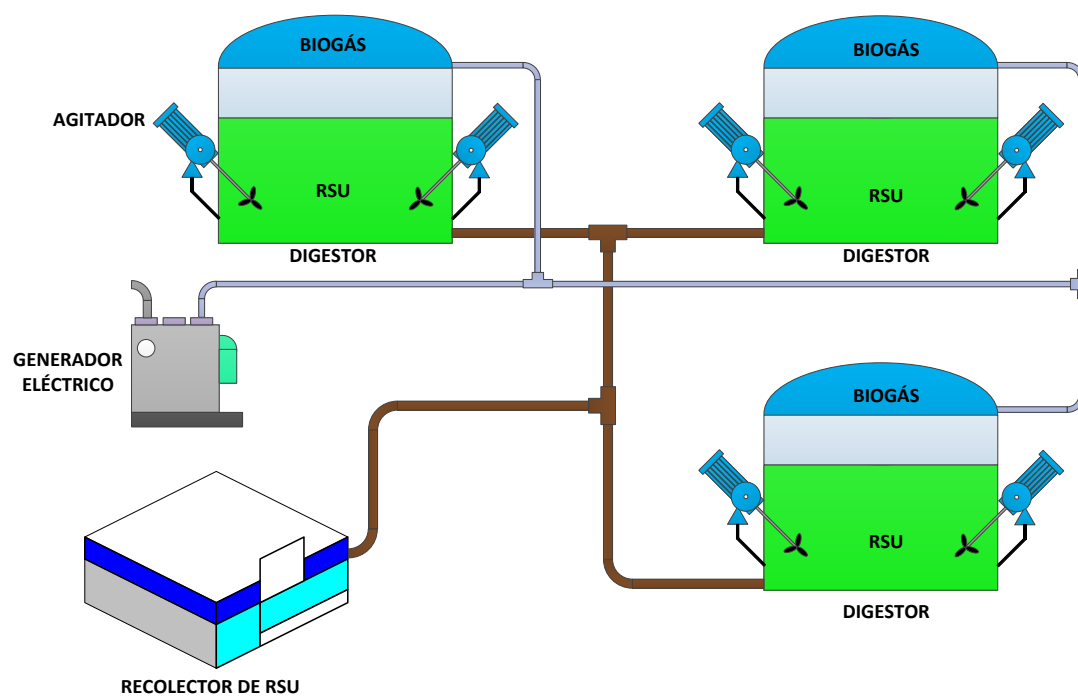


Figura 1.12: Digestores Modernos

Fuente: Autor

CAPÍTULO II

DEGRADACIÓN DE LA BIOMASA Y FACTORES PARA UTILIZACIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA

2.1 Ecuaciones de degradación del biogás, hacia la obtención de combustible.

Se conoce como degradación de la biomasa a la descomposición orgánica de los residuos que la conforman. Las ecuación de modelan el comportamiento de la biomasa al transformarla en biogás se las conoce como ecuación de degradación.

2.1.1 Modelos matemáticos de generación de biogás

Existe una serie de modelos matemáticos con los cuales se pueden prever con mayor o menor exactitud la generación de biogás de un vertedero, los cuales se pueden mantener útil entre períodos de 25 años o más, estos vertederos dependen de varios factores que se analizan en cada uno de los modelos matemáticos, a continuación se muestra algunos modelos existentes.[15][16]

- **Modelo Ecuatoriano de biogás**

$$QB = \sum_0^n \frac{1}{\%_{vol}} kML_0 e^{-k(n-t_{lag})} \quad (1.1)$$

QB:	cantidad de biogás (Nm ³)
n:	# total de años modelados
t:	tiempo depósito de desechos (años)
t _{lag} :	estimación de tiempo entre disposición de desechos y la generación de CH ₄
% _{vol} :	porcentaje volumétrico estimado de CH ₄ en el biogás
L ₀ :	volumen estimado de CH ₄ generado por tonelada de desecho solido

k	tasa estimada de decaimiento de desecho orgánico
M	masa de desechos colocados en el lugar en año (toneladas)

- **Modelo Mexicano de Biogás**

$$Q_{LFG} = \sum_{t=1}^n \sum_{j=0.1}^1 2kL_0 \left(\frac{M_1}{10} \right) e^{-kt_{ij}} (MCF)(F) \quad (1.2)$$

Q_{LFG} :	generación anual de biogás en el año de cálculo ($m^3/año$)
i:	incrementos de 1 años
n:	(año de cálculo) – (año de inicio de disposición de residuos)
j:	incrementos de 0.1 años
k:	tasa de generación de CH_4 ($año^{-1}$)
L_0 :	potencial de generación de CH_4 ($m^3/tonelada$)
M_i :	cantidad de residuos aceptados en el año “i” (toneladas)
t_{ij} :	edad de la sección “j” de residuos “ M_i ” aceptados en el año “i”
MCF:	factor de corrección del CH_4
F:	factor de ajuste por incendios

- **Modelo de Primer Orden**

$$\alpha_t = \zeta * 1.87 * A * C_0 * k_1 * e^{-k_1 t} \quad (1.3)$$

ζ :	factor de asimilación (0.58)
1.87:	factor de conversión (m^3LFG/kg C degradados)
A:	cantidad de residuos en el sitio de disposición final
C_0 :	cantidad de carbono orgánico en los residuos (kg C/toneladas de residuo)
k_1 :	constante de degradación ($año^{-1}$)
t:	tiempo transcurrido desde la deposición de los residuos (años)

- **Modelo Afvalzorg Multi – Fase**

$$\alpha_t = \varsigma \sum_{i=1}^3 c * A * C_{0,i} * k_{1,i} * e^{-k_{1,i}t} \quad (1.4)$$

- α_t : generación de biogás (LFG) en un tiempo dado (m³LFG/año)
 i : fracción de residuo con tasa de degradación $k_{1,i}$ (Kg_i/Kg residuos)
 c : factor de conversión (m³LFG/kg materia orgánica degradada)
 $k_{1,i}$: constante de degradación (año⁻¹)

- **Modelo EPER Francés**

$$FE_{CH_4} = \sum_x FE_0 * \left(\sum_{1,2,3} A_i * p_i * k_i * e^{-k_i t} \right) \quad (1.5)$$

- FE_{CH_4} : generación de metano anual (m³ CH₄/año)
 FE_0 : potencial de generación de metano (m³ CH₄/tonelada RS)
 p_i : fracción de residuo con tasa de degradación k_i (Kg_i/Kg residuos)
 k_i : constante de degradación de la fracción i (año⁻¹)
 A_i : factor de normalización (-)
 t : edad de los residuos (años)

- **Modelo de Orden Cero SWANA (Solid Waste Association Of North America)**

$$Q = \frac{M * L_0}{t_0 - t_1} \text{ para } t_0 < t < t_1 \quad (1.6)$$

- Q : generación de metano (m³/año)
 W : residuos depositados en el vertedero (toneladas)
 L_0 : potencial de generación de metano
 t : tiempo (años)
 t_0 : tiempo de desfase (años)

t_1 : tiempo de cese de generación (años)

- **Modelo Simple de Primer Orden SWANA**

$$G = W * L_0 * k * e^{-k(t-t_1)} \quad (1.7)$$

G: generación de metano (m^3 año)

W: residuos en el vertedero (toneladas)

t_1 : tiempo de desfase (entre la disposición de los RS y el inicio de la generación)

k: constante de degradación de primer orden ($años^{-1}$)

- **Modelo de Primer Orden Modificado SWANA**

$$G = W * L_0 * \frac{k + s}{s} * (1 - e^{-s(t-t_1)}) (k * e^{-k(t-t_1)}) \quad (1.8)$$

t: tiempo desde el depósito de los RS (años)

s: constante de fase de primer orden

- **Modelo de Primer Orden Multi – fase SWANA**

$$G = W * L_0 * [F_{(r)}(k_r * e^{-k_{(r)}(t-t_1)}) + F_{(s)}(k_{(s)} * e^{-k_{(s)}(t-t_1)})] \quad (1.9)$$

$k_{(r)}$: constante de degradación de la fracción de RS con degradación rápida ($años^{-1}$)

$k_{(s)}$: constante de degradación de la fracción de RS con degradación lenta ($años^{-1}$)

$F_{(r)}$: fracción de RS con degradación rápida (%)

$F_{(s)}$: fracción de RS con degradación lenta (%)

- **Modelo LandGEM**

$$Q_{CH_4} = \sum_{t=1}^n \sum_{j=0.1}^1 k L_0 \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{ij}} \quad (1.10)$$

Q_{CH_4} :	generación anual de metano en el año de cálculo (m ³ /año)
i:	incrementos de 1 año
n:	(año de cálculo)-(año de inicio de disposición de residuos)
j:	incrementos de 0,1 año.
k:	tasa de generación de metano (año ⁻¹)
M_i :	cantidad de residuos aceptados en el año “i” (toneladas)
t_{ij} :	edad de la sección “j” de residuos “ M_i ” aceptados en el año “i”

- **Modelo Scholl Canyon**

$$Q = k * L_0 * R * e^{-k(t-x)} \quad (1.11)$$

Q:	generación de biogás (m ³ /año)
R:	residuos en el vertedero (toneladas)
(t-x):	antigüedad de cada período de disposición: 0, 1, 2, 3,... (Años)

2.2 Ciclos útiles para la utilización de biogás

Existen diversos ciclos termodinámicos en los que se utiliza los gases como principal fuente de funcionamiento, estos ciclos termodinámicos se llevan a cabo en máquinas térmicas en las que se convierte la energía térmica en trabajo, y este trabajo es expresado en eficiencia térmica.

Entre los que se enfocan más para la utilización de gas como fuente de combustible son los ciclos, Brayton, ciclo Rankine, ciclo Otto.

2.2.1 Ciclo Brayton

El ciclo Brayton es un proceso que consta diferentes etapas, la primera es el ingreso de aire en condiciones normales a un compresor que se encarga de elevar la temperatura

así como también la presión, una vez completa esta etapa el aire pasa al siguiente proceso donde ingresa a un cámara de combustión donde se mezcla con el gas (combustible) este proceso se lo realiza a presión constante, del resultado de este proceso se obtiene gas con una gran cantidad de energía y sobre todo presión, por lo que se lo transfiere al tercer proceso el ingreso a una turbina en donde la alta presión produce movimiento, que puede ser útil para para algunos aplicaciones como el movimiento de vehículos así como la generación de energía eléctrica, la última etapa del ciclo es que los gases que atraviesan la turbina son liberados o expulsados al ambiente, este ciclo se lo llama ciclo Brayton de ciclo abierto. [17]

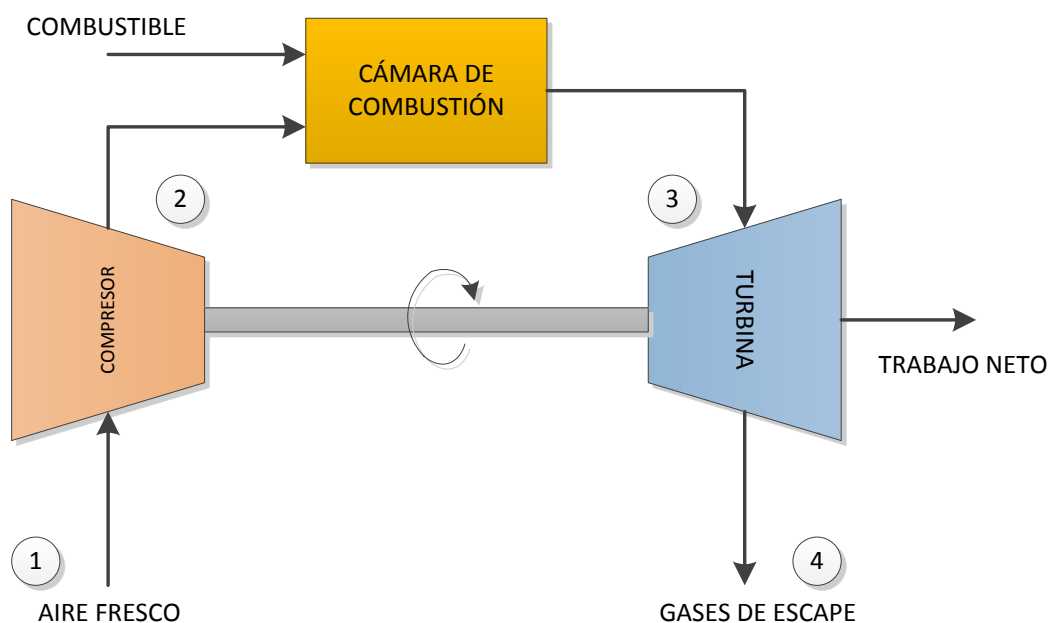


Figura 2.1: Motor de turbina de gas a ciclo abierto

Fuente: AUTOR

El ciclo Brayton también se lo puede modelar o modificar para ser utilizado con ciclo cerrado, donde los procesos de compresión y de intercambio de presión por movimiento siguen siendo iguales, los cambios que se presentan en este ciclo es en lugar de tener una cámara de combustión se la sustituye por un intercambiador de calor a presión constante desde una fuente externa, y otro en donde los gases de escape ingresan a otro intercambiador de calor o también llamado rechazo de calor a presión constante hacia el ambiente.

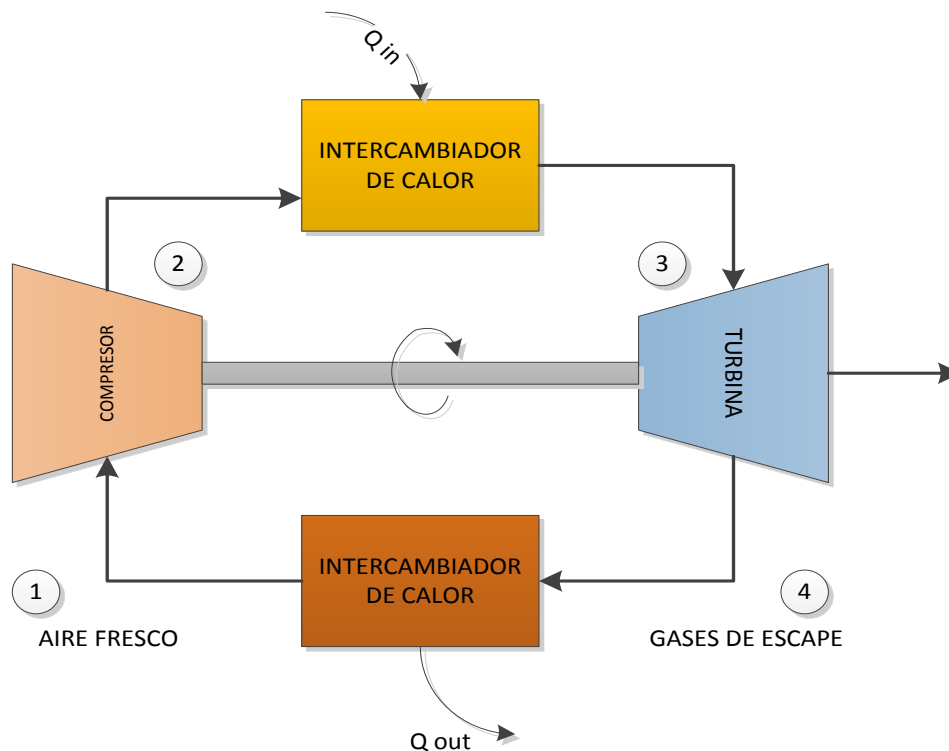


Figura 2.2: Motor de turbina de gas a ciclo cerrado

Fuente: AUTOR

2.2.2 Ciclo Rankine

El ciclo Rankine es característico de las máquinas a vapor, las cuales están formadas por cuatro elementos, bomba, caldera, turbina, condensador.

La bomba mantiene el sistema en funcionamiento, es el encargado de mover el líquido que atraviesa por él, pero cuando este fluido se trata de un gas en lugar de ocupar una bomba se utiliza un compresor. Ya sea que se utilice un compresor o una bomba se requiere una cantidad de trabajo para poder comenzar su funcionamiento, este trabajo es generado por la propia máquina.

La caldera es el lugar donde el agua cambia su estado de líquido a gaseoso, con la ayuda del ingreso de una cierta cantidad de calor, cuando el calor que es proporcionado a la caldera desde el exterior se dice que se tiene una caldera de combustión externa y cuando el calor es producido en su propia cámara se dice que se trata de una máquina de combustión interna.

La turbina es donde se produce el trabajo mediante la ayuda del paso del vapor que fue generado en la caldera, el paso de este vapor hace mover los alabes de la turbina este movimiento también es aprovechado para hacer funcionar la bomba y así como para la generación eléctrica.

El condensador es el medio donde el vapor se pone en contacto con el ambiente, y se condensa para pasar del estado gaseoso a estado líquido, una vez que ha pasado a estado líquido vuelve a ingresar a la bomba y se reanuda el ciclo.[17]

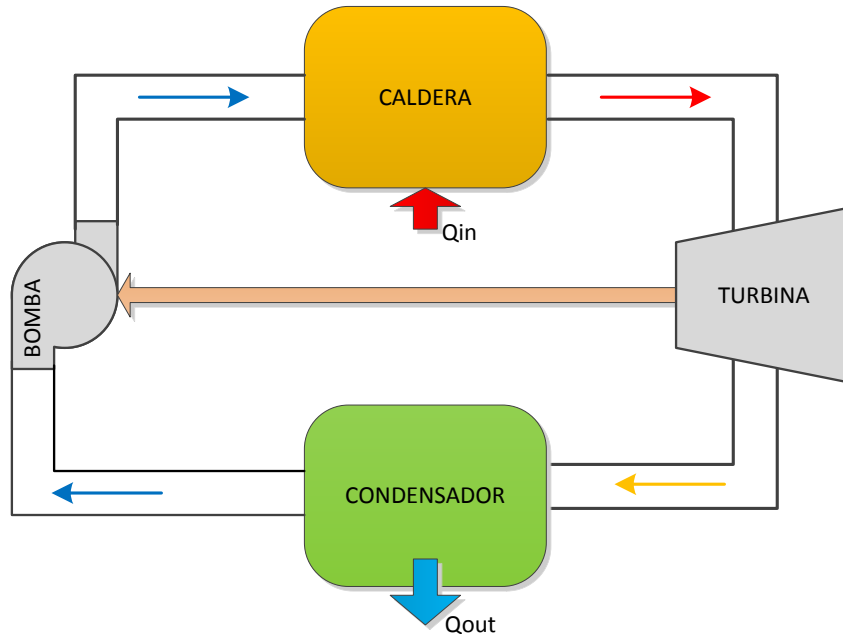


Figura 2.3: Máquina de Vapor (ciclo de Rankine)

Fuente: AUTOR

2.2.3 Ciclo Otto

El ciclo Otto es el utilizado en las llamadas máquinas encendidas por chispa, este ciclo consiste en una máquina exitosa de cuatro tiempos, o también llamadas máquinas de combustión interna, este proceso radica en que inicialmente las válvulas de la admisión y de escape están cerradas.

El ciclo comienza durante la **carrera de compresión** en donde el aire y el combustible se mezclan empujadas por el émbolo que se encuentra en carrera hacia arriba, momentos antes que alcance su posición más alta la bujía produce una chispa que genera la combustión de la mezcla, haciendo que los gases aumenten en temperatura y presión, esta presión hace que el émbolo se dirija en carrera contraria a la inicial, lo que obliga que los acoples mecánicos hagan girar el cigüeñal, en este punto se produce trabajo útil durante la **carrera de expansión**, al final de esta carrera el émbolo se encuentra en la posición más baja, y la cámara que aloja al émbolo se llena de productos de la combustión, seguido de esto el émbolo comienza a desplazarse hacia arriba haciendo que los gases remanentes de la combustión anterior se escapen por la válvula

de escape o *carrera de escape*, al descender por segunda vez realiza el ingreso de aire fresco y combustible a través de la válvula de admisión o también llamada *carrera de admisión*, este es un proceso continuo en el que se logra un movimiento circular en el eje del motor, la eficiencia de transferencia de energía química o interna del combustible hacia el eje esta alrededor de un 30 – 35%.[17]

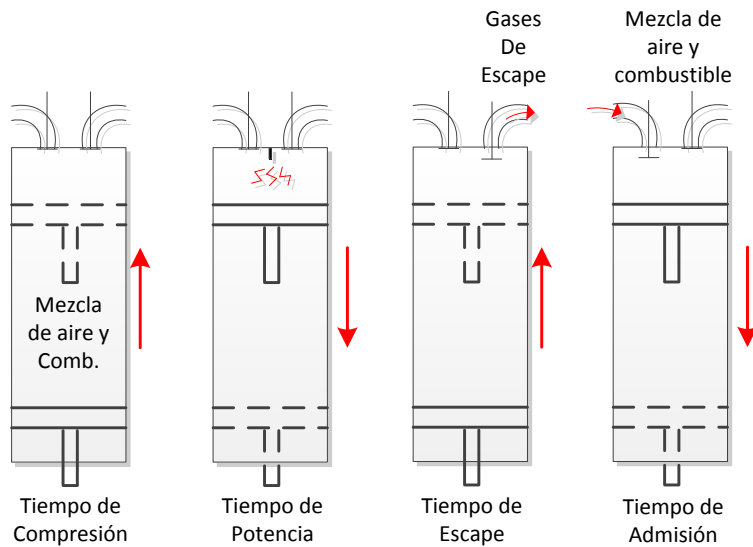


Figura 2.4: Motor encendido por chispa de cuatro tiempos

Fuente: AUTOR

2.3 Factores de pérdida en la línea de distribución.

2.3.1 Líneas de distribución

Se define líneas de distribución, a las líneas de transmisión de energía que sirven de energía a usuarios finales, dependiendo del tipo de usuario se lo puede realizar en baja tensión (BT) o en media tensión (MT). Comúnmente a los usuarios que se suministra energía en BT son los del tipo residencial y comercial ya que su demanda de energía es pequeña y se satisface con voltajes bajos.

En cambio a los usuarios que se suministra energía en MT son los que demandan una gran cantidad de energía y potencia, como son hospitales, fábricas e industrias, para lo cual es conveniente suministrar energía a estos clientes en voltajes elevados ya que ayuda a que la corriente que atraviesa los conductores sea relativamente menor a comparación de suministrarla en BT ya que para mantener la conservación de potencias, al suministrar energía en BT la corriente que atravesaría los conductores sería demasiada elevada y por consiguiente los conductores tendrían que ser de un calibre

considerable para abastecer la potencia requerida por estos sectores.

Las líneas de distribución conforman el esquema de un sistema eléctrico de potencia (SEP), dicho esquema está formado con: generación, transmisión y distribución.

Para el presente estudio se considera a las líneas de distribución como líneas de transmisión cortas, en las cuales se establece como un SEP de tramo corto a las distancias menores de 50 millas (80 km) para líneas de transmisión aéreas, en los cuales los únicos factores de estudio son los efectos resistivos e inductivos, ya que al ser un SEP de tramo corto no existe efecto capacitivo y para cálculos solo se lo realiza como un circuito en corriente alterna (AC) en serie.[18]

Dónde:

$$I_S = I_R \quad (2.1)$$

La tensión en el lado de la generación es:

$$V_S = V_R + I_R Z \quad (2.2)$$

Y la impedancia total de la línea es igual Z

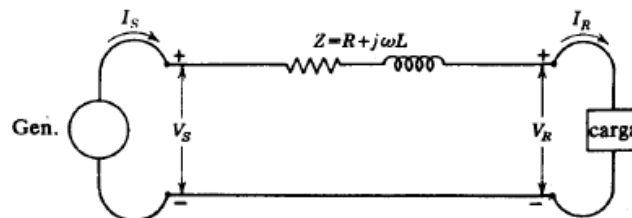


Figura 2.5: Esquema Sistema Eléctrico de Potencia Distancia Corta

Fuente: Stevenson W., Análisis de sistemas eléctricos de potencia Stevenson. 1999, p. 385.

Dónde:

I_S : corriente en el extremo del trasmisor (generación)

I_R : corriente en el extremo del receptor (carga)

V_S : tensiones de fase y neutro en el trasmisor

V_R : tensiones de fase y neutro en el receptor

Hay que diferenciar lo que es una línea de transmisión y una línea de distribución. En las redes o líneas de distribución la fuente de transmisión de energía no la realiza los generadores sino son las subestaciones de energía que se establece como un nodo de distribución.

La topología en gran parte del sistema de distribución está en un esquema radial, así como la multiplicidad de conexiones, este efecto se visualiza en mayor parte en los sistemas de BT en los cuales podemos encontrar conexiones monofásicas, bifásicas y trifásicas, en cambio en los sistemas de MT las únicas conexiones que se consideran son monofásicas y trifásicas.

La diversidad de cargas conectadas a la red, genera es una es un desbalance en los valores de factor de potencia, ya sea en adelante o en atraso del valor de la corriente con respecto al voltaje.

En un enfoque de regulación o de normativas que estable los organismos regentes del sector eléctrico indica los niveles de voltaje que se aplica para cada sistema. En distribución los niveles aplicables están desde los 120 voltios corriente alterna (VAC) hasta valores inferiores de los 30 kilo voltios, en subtransmisión los valores están entre los 30 kilo voltios (kV) hasta los 69 kilo voltios, en cambio para transmisión se consideran valores superiores a los 69kV hasta cientos de kV.

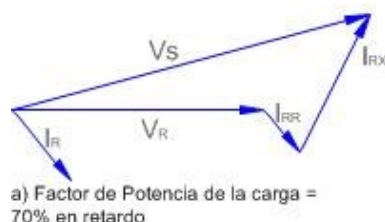


Figura 2.6a: Factor de Potencia en Retardo

Fuente: AUTOR

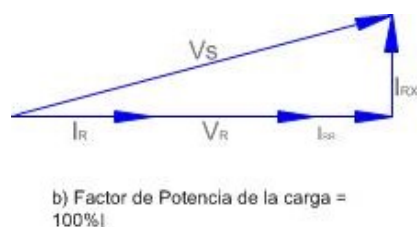


Figura 2.6b: Factor de Potencia sin Desfase

Fuente: AUTOR

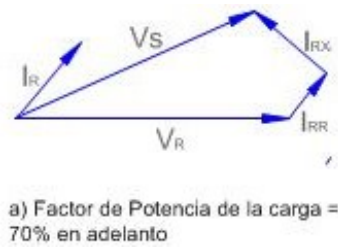


Figura 2.6c: Factor de Potencia en Adelanto

Fuente: AUTOR

2.3.2 Pérdidas en línea de distribución

Las pérdidas en las líneas de distribución se dan principalmente por los fenómenos físicos que suceden en ellas ya sean por efectos electromagnéticos, o por la resistencia al paso de la corriente eléctrica, estos efectos no se pueden evitar pero se buscan métodos para disminuirlos en gran parte.

Una de las causas de la elevación de estos factores de pérdida en todos los componentes que conforman las líneas de distribución, son debidas a que las entidades encargadas como son las empresas eléctricas distribuidoras, no han buscado métodos de ingeniería para controlar o para disminuir estos efectos, al contrario han instalado más redes de distribución de una manera no técnica la cual se realiza sin un análisis de carga adecuado para la implementación de todos los elementos que conforman las líneas de distribución como son: conductores, transformadores, cadenas de aisladores, pines, compensadores reactivos, equipos de protección.[19]

A las pérdidas técnicas se les puede clasificar por la causa en donde se originan, las mismas que son fijas o variables. Las pérdidas fijas son el *efecto corona*, *efecto skin*, las *corrientes parásitas e histéresis*, y las *pérdidas variables* son las que se producen por *efecto Joule*, pérdidas por potencias reactiva así como pérdida de voltaje.[20][21]

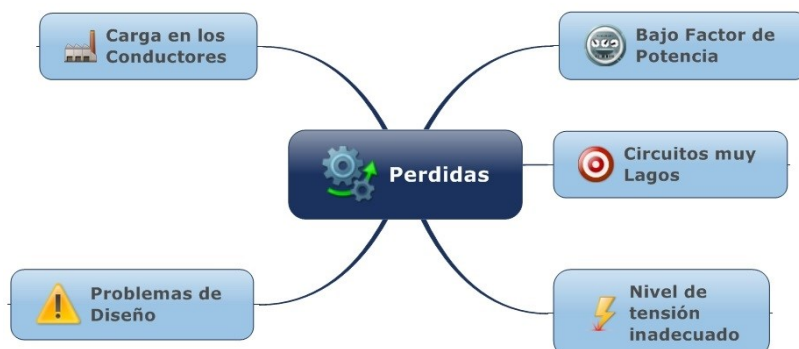


Figura 2.7: Factores que incurren en las pérdidas técnicas.

Fuente: AUTOR

2.3.2.1 Pérdidas por efecto corona:

Este efecto depende de factores meteorológicos y de irregularidades que se presentan en la superficie de los conductores, el efecto corona se produce generalmente en conductores de transmisión de alta tensión en valores superiores a los 115 kV ionizando el aire que lo rodea, lo que causa que sea capaz de conducir corriente eléctrica en el aire, generando efectos de deterioro en los materiales por lo general en las cadenas de aisladores, line post, y debido a que los conductores tienen una forma concéntrica se genera un efecto luminoso llamado halo, este halo tiene la forma de corona de ahí es donde toma su nombre, otro de los efectos secundarios que se generan son ruido audible, generación de gases como ozono, óxidos de nitrógeno, así como ácido nítrico, y una de las que más se considera es la disipación de energía.

Para el presente análisis al considerar voltaje menores de 46 kV, para los sistemas de distribución este efecto se lo puede depreciar ya que los efectos corona generados serían demasiado pequeños.

2.3.2.2 Pérdidas por corrientes parásitas e histéresis:

Las corrientes parásitas también llamadas corrientes de Foucault se generan o se forman debido a que, un conductor eléctrico traspasa un campo magnético variable este efecto también puede ocurrir de manera contraria a la explicada, lo que conlleva a crear campos magnéticos los cuales se oponen al campo magnético aplicado en ese conductor eléctrico, una de las consecuencias que causa este efecto es la disminución de eficiencia en los equipos que utilizan campos magnéticos variables como son los motores y transformadores.

Estas pérdidas se manifiestan generando energía en forma de calor o también conocido como efecto Joule, estos efectos son mayores si los núcleos en donde se forman estas corrientes son macizos, por lo tanto una de las maneras de disminuir este efecto es utilizar núcleos de materiales magnéticos con una baja conductividad o también utilizar núcleos formados con láminas magnéticas delgadas apiladas una junto a la otra, esto ayuda que en los extremos del núcleo se generen campos eléctricos que se

oponen a la acumulación de cargas y por lo tanto la disminución de las corriente de Foucault.

En relación a histéresis el mismo campo magnético variable, hace que los imanes o dipolos se orienten en la dirección del campo originario, pero al momento que este campo se desvanece o desaparece no todos los imanes toman su posición original debido a diferentes circunstancias, como los rozamientos moleculares o al tener un grado menor de orientación forzada y como consecuencia se cree un campo magnético remante, como en el caso de las corrientes Foucault el efecto de histéresis genera una pérdida de energía en forma de calor o efecto Joule, una de las manera de disminuir el efecto de histéresis es la construcción de núcleo magnéticos con características especiales o también aleaciones de materiales magnéticos.[22]

2.3.2.3 Pérdidas por efecto skin:

El efecto skin también conocido como efecto pelicular es el efecto generado en conductores de grandes secciones y en especial en conductores macizos, este efecto origina una mayor densidad de corriente en la superficie exterior del conductor que en la interior del mismo, en lo que se deriva en la generación de variación de la resistencia eléctrica debido a la variación la frecuencia de corriente alterna circulante en los mismos.

Para que este efecto exista y se genere, los conductores deben transportar una gran cantidad de potencia eléctrica una de las principales causas de este efecto es la pérdida de potencia por calor ya que es como si la resistencia efectiva en corriente alterna (AC) fuese mayor, que la resistencia real en corriente continua (DC).

2.3.2.4 Pérdidas por efecto Joule:

Se determina efecto Joule, a la pérdida de potencia que se produce debido a la resistencia que presenta los diferentes equipos eléctricos en el sistema de distribución, ya sean a los devanados de los transformadores, generadores o conductores, esta pérdida de potencia se presenta en forma de calor la cual puede ser expresa por la ecuación 2.3, las consecuencias que generan esta emisión de potencia por calor son el disparo sin causa aparente de las protecciones, el deterioro y la reducción de vida útil de los equipos, y como consecuencia el aumento de cortocircuitos.

$$P_p = I^2 * R \quad (2.3)$$

2.3.2.5 Potencia

La potencia es medio útil para poder realizar un trabajo en un determinado tiempo.

2.3.2.6 Potencia eléctrica

Tomando el concepto anterior, la potencia eléctrica es el paso de energía en un determinado tiempo el cual puede ser absorbido o entregado.

Al transferir energía a diferentes elementos, estos pueden transformar la potencia eléctrica en otro tipo de energía como son calor, luz, movimiento, sonido, pero para mayor entendimiento se tiene que diferenciar que tipo de potencia ayuda a realizar este trabajo, ya que no existe un solo tipo de potencia. La potencia que ayuda o se utiliza para ejecutar trabajo útil a los diferentes sistemas o componentes de un circuito eléctrico se denomina potencia real o activa, la cual se representa con la P y se mide en vatios (W).

Como existen variados componentes que conforman un circuito eléctrico, estos se comportan de manera distinta en DC que en AC, por lo que se tiene que analizar qué efectos producen estos elementos, como son las bobinas y los capacitores en los circuitos de AC.

Al hablar de elementos capacitivos o inductivos conectados a una red de energía de corriente alterna se habla de que estos elementos generan un desfase entre voltaje vs corriente.

En los circuitos capacitivos la corriente se adelanta 90° eléctricos con relación al voltaje y los circuitos inductivos la corriente se atrasa 90° eléctricos con respecto al voltaje. A diferencia de un circuito resistivo en donde el voltaje y la corriente se encuentran en fase (misma dirección y sentido), si se analiza que sucede en el momento que la corriente se desfase del voltaje, produce un efecto de potencia distinta a la potencia útil o activa, la cual se denomina potencia reactiva.

2.3.2.6 Potencia reactiva

La potencia reactiva a diferencia de la potencia activa no ayuda a realizar trabajo útil

sino al contrario se torna en energía que genera pérdidas en las instalaciones, a esta potencia se la representa con la letra “Q” y se mide en voltamperios reactivos (VAR). Adicional a estas dos potencias como son activa y la reactiva existe una tercera potencia que es la potencia aparente, la cual es la suma vectorial de la potencia activa y de la potencia reactiva que se representa con la letra “S” y se mide en voltamperios “VA”,

La potencia aparente es proporcional a la intensidad que circula por una instalación, razón por la cual a mayor potencia reactiva, mayor potencia aparente y aumento de circulación de corriente que la necesaria para realizar un trabajo útil, esta sobreintensidad no es buena ya que produce pérdidas como son pérdidas por efecto Joule, caídas de tensión, trabajo excesivo en elementos que suministran potencia aparente y activa.

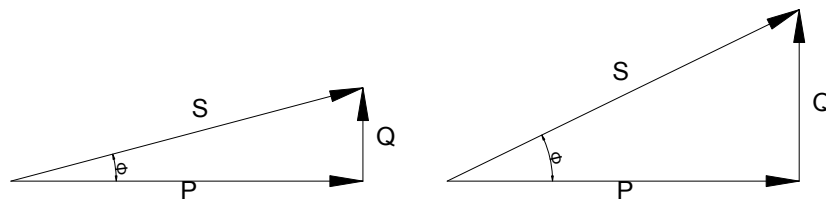


Figura 2.8: Triángulo de Potencia, Mayor Potencia Reactiva, Mayor Pérdidas de Potencia

Fuente: AUTOR.

2.4 Modelos aplicables para la generación distribuida

Para determinar un modelo matemático que especifique, enuncie o explique qué es y cómo se comporta la GD no existe, lo que se realiza es la utilización de modelos matemáticos existentes para realizar optimización de recursos o de efectos que se generan en las líneas de distribución en BT o MT, ya sea en una red pública o una red de uso privado. La GD utiliza métodos y herramientas para maximización – minimización de los sistemas existentes.[23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39], [40]

Se presenta algunos enunciados de aplicaciones de modelación de sistemas de GD:

- Disminución de costes de ciclo de vida de los sistemas
- Disminución de costes debido a interrupciones de servicio
- Disminución de costes de instalación
- Disminución de pérdidas generadas en las líneas de distribución

- Disminución de impactos ambientales
- Maximización en tiempo de respuesta a eventos como interrupciones o eventos fuera de servicio
- Maximización de ubicación de GD para disminuir pérdidas o aumentar potencia activa
- Optimización en calidad de energía y eficiencia energética.
- Optimización de efecto armónico
- Optimización de despacho energético y económico
- Soporte niveles de voltaje / regulación de voltaje / maximización de mejora de tensión
- Control de potencia reactiva
- Flujo de potencia real para modelo de mercado eléctrico
- Análisis para el crecimiento real de una red de distribución dependiendo de la demanda

CAPÍTULO III

MODELIZACIÓN DEL BIOGÁS Y DE SISTEMAS DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA

3.1 Modelación del biogás

Para la modelación del biogás, existen dos clases o métodos en las cuales se puede formar este gas, que no es más que el resultado de la degradación orgánica de la biomasa de los residuos orgánicos, los cuales son los digestores convencionales y los digestores modernos.

En digestores convencionales existen muchos tipos los cuales ya se mencionaron en el capítulo 1, y también están los llamados vertederos, rellenos sanitarios o basureros a cielo abierto, estos lugares son en donde se deposita la basura que genera una ciudad día a día y por muchos años hasta cubrir la capacidad total del vertedero.

Para el análisis se ha tomado en consideración la ecuación del biogás para el Ecuador, (toda la programación de la modelación se encuentra en el anexo A).[16]

$$QB = \sum_0^n \frac{1}{\%_{vol}} kML_0 e^{-k(n-t_{lag})} \quad (1.1)$$

Dónde:

QB: Es la cantidad de biogás que se va obtener del vertedero considerando la cantidad de desechos colocados en el mismo, la cantidad de biogás se los mide metros cúbicos normales (Nm³).

n: es el número de años en la que se realiza la modelación tomando en cuenta el año de inicio de actividades.

t_i: es la tiempo o el año en la que el vertedero comenzó a recibir los desechos orgánicos.

t_{lag}: es el tiempo que se dispone de biogás desde la fecha que se ingresó desechos orgánicos hasta el cierre de operaciones del vertedero.

$\%_{vol.}$: porcentaje de concentración volumétrica estimada de CH_4 en el biogás

L_0 : es la capacidad potencial para generar metano este valor depende de la cantidad de carbono que contenga los desechos ingresados en los vertederos.

k : es el índice de generación de biogás los cuales se definen en función de la humedad del contenido, temperatura, y disponibilidad de nutrientes.

M : es la cantidad de masa de desechos colocados en el vertedero, el cual se mide en toneladas por año.

De la leyenda expresada podemos discriminar cuales de estos parámetros de la ecuación las consideramos con fijas, variables o también llamadas dependientes e independientes

Tabla 3.1: Variables Dependientes – Independientes para la generación de Biogás

VARIABLES	
$M - t_i - t_{lag}$	Dependientes
$k - L_0$	Dependientes
$\%CH_4$	Independiente

Fuente: AUTOR.

Los valores de k y de L_0 están relacionados con la cantidad de precipitación de agua lluvia que cae sobre el vertedero, “ k ” es la constante que determina el índice de generación de gas estimado, “ L_0 ” es la constante que representa la capacidad potencial del sitio para generar metano, por lo cual la precipitación de lluvia ayuda acelerar el proceso de descomposición de los desechos entre más precipitación las constantes “ k y L_0 ” se elevan.[16]

Tabla 3.2: Valores Constantes de k y L_0

Precipitación (mm/año)	k Desechos con Comida Media ($\leq 50\%$)	k Desechos con Comida Media ($\geq 65\%$)	L_0 (m^3 /Ton Métrica) Desecho con Comida media ($\leq 50\%$)	L_0 (m^3 /Ton Métrica) Desecho con Comida media ($\geq 65\%$)
0	0.040	0.043	60	62
250	0.050	0.053	80	83
500	0.065	0.069	84	87
1000 /Saturado	0.080	0.085	84	87
2000 /Saturado	0.080	0.085	84	87

Fuente: Epa, U. S. (2009). Manual de Usuario Modelo de Biogás de Ecuador.

Para comenzar con el análisis de cómo se degrada los desechos en biogás vamos a asumir valores para la modelación de la ecuación del biogás en diferentes casos.

Caso 1: Condiciones bajas para la generación de biogás

Datos:

Precipitación	=	0
Lo	=	60
K	=	0.04
M	=	1500
ti	=	1995
tlag	=	2050
VCH ₄	=	50%

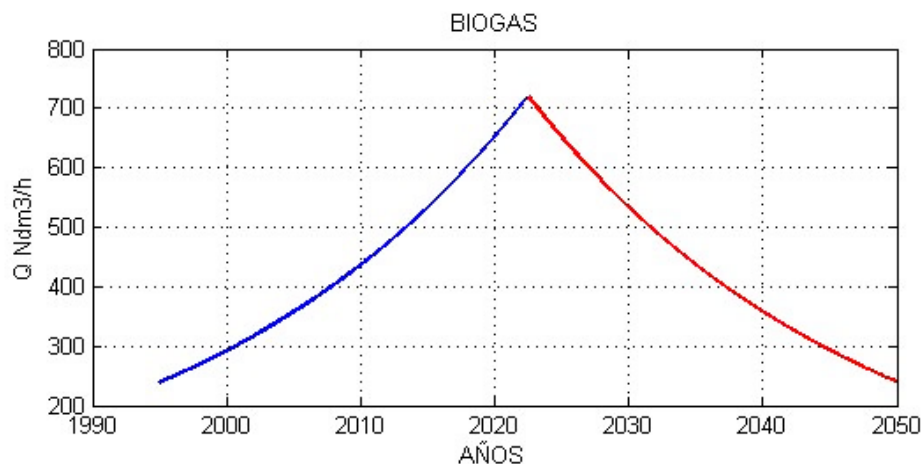


Figura 3.1: Generación de Biogás Caso 1

Fuente: Autor

Resultado.

- La curva representada en la figura 3.1 es simétrica, debido a que la degradación de la biomasa se da manera exponencial tanto para la generación como para el decaimiento
- La figura 3.1 determina que como resultado de la cantidad de **1500 toneladas métricas** de desechos se obtuvo alrededor de **700 decímetros cúbicos por hora al año**, de biogás.
- El punto máximo entre la curva creciente y la curva decreciente nos interpreta que se ha degradado todos los desechos y han pasado a ser biogás

- La gráfica 3.2 explica, que la biomasa o desechos se están degradando o convirtiendo en biogás

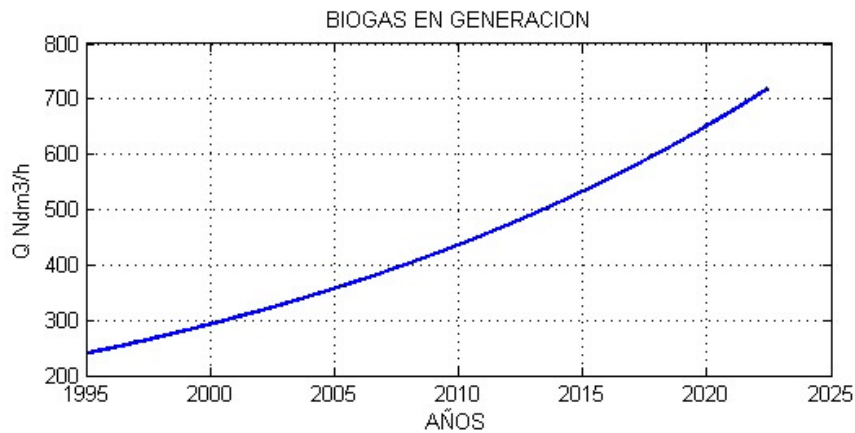


Figura 3.2: Fase 1 Generación de Biogás Degradación de Residuos

Fuente: AUTOR

- La figura 3.3, se interpreta o se explica que, al ya no tener desechos que consumir para convertir en biogás. Los agentes que realizan este proceso, inician a consumirse así mismo para poder prolongar su vida, y al momento de suceder este proceso el biogás disminuye a lo que también se llama biogás en decaimiento.

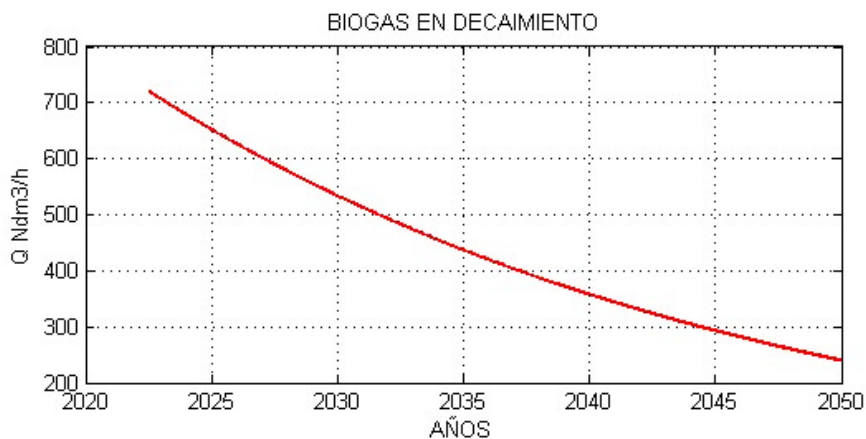


Figura 3.3: Fase 2 Generación de Biogás Decaimiento del Biogás

Fuente: AUTOR

Caso 2: Condiciones altas para la generación de biogás

Datos:

Precipitación	=	2000
Lo	=	87
K	=	0.085
M	=	1500
ti	=	1995
tlag	=	2050
VCH ₄	=	50%

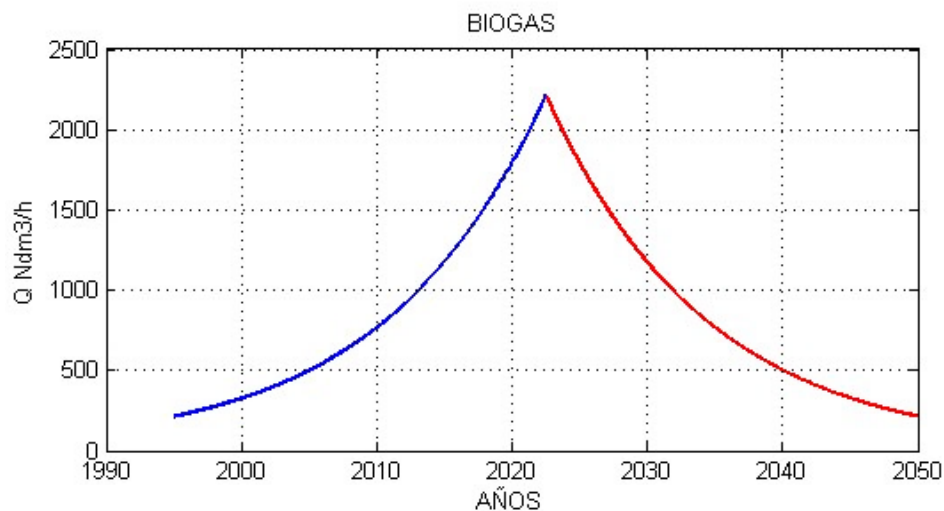


Figura 3.4: Generación de Biogás con condiciones altas de degradación

Fuente: AUTOR

Resultado.

- Los resultados de la generación al adoptar las condiciones más altas para la obtención del biogás con la misma cantidad de desechos así como el mismo tiempo análisis, nos da como resultado que el valor de obtención de biogás es alrededor de **2200 decímetros cúbicos por hora al año**, 3 veces más que el caso anterior.

Caso 3: Condiciones medias para la generación de biogás + ingreso anual de desechos constantes hasta un tiempo 1 (t1)

Datos:

Precipitación	=	500
Lo	=	87
K	=	0.069
M	=	1500

ti	=	1995
t1	=	2022
tlag	=	2050
VCH ₄	=	50%

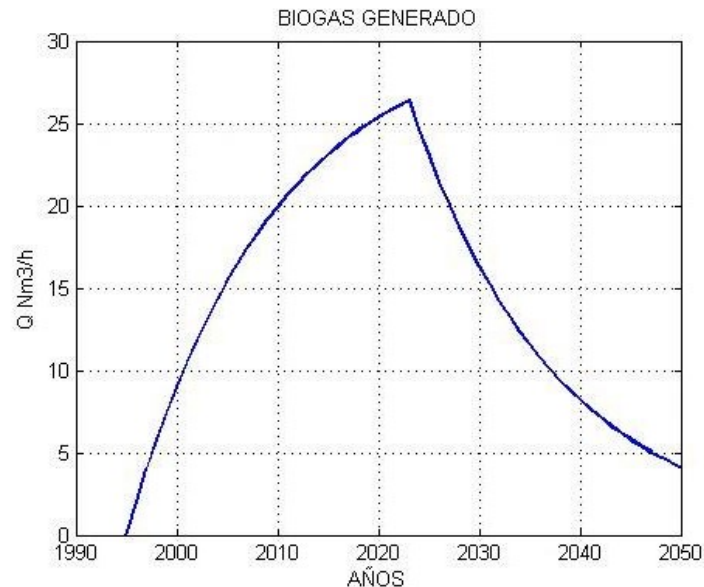


Figura 3.5: Generación de biogás con condiciones medias + el ingreso de desechos hasta un tiempo 1

Fuente: AUTOR

Resultado.

- El resultado del tercer caso para la obtención de biogás con condiciones medias y adicionando el mismo volumen de desechos durante un determinado tiempo t1, es que la curva tiene una sección creciente igual al de una parábola hasta llegar a su cresta más alta y vuelve a decaer en forma exponencial, esto se debe al ingreso contante hasta un tiempo t1 de desechos considerando que la curva sigue siendo exponencial.
- La cantidad de biogás generado en este análisis es alrededor de **27 metros cúbicos de biogás por hora al año.**

Caso 4: Condiciones semi – reales para la generación de biogás + ingreso anual de desechos constantes hasta un tiempo 1 (t1)

Datos:

Precipitación	=	700
Lo	=	87
K	=	0.069
M	=	547500

ti	=	1995
t1	=	2022
tlag	=	2050
VCH ₄	=	50%

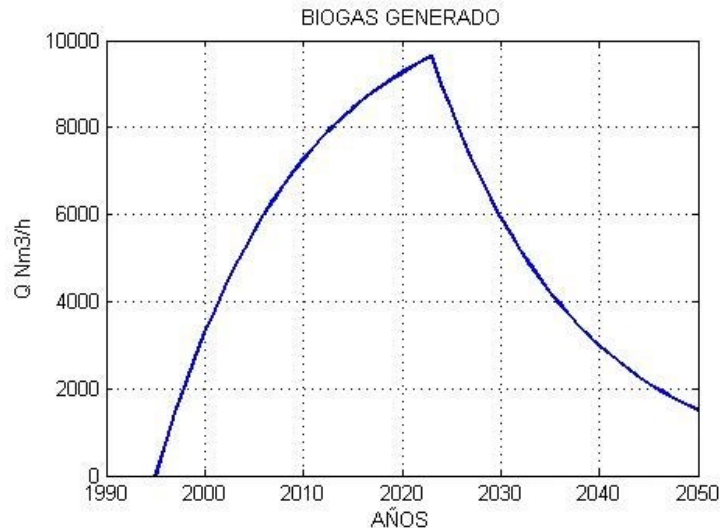


Figura 3.6: Generación biogás con condiciones semireales + el ingreso de RSU hasta un tiempo t1

Fuente: AUTOR

Resultado.

- Los valores adoptados se ejemplifican tomando que una ciudad como el DM Quito genera desechos promedio de 1500 toneladas al día con un promedio de 700 mm de precipitación de aguas lluvias, con un relleno sanitario relleno sanitario de captación de basura durante 27 años, el resultado de biogás generado en estas condiciones es de alrededor de **9600 metros cúbicos de biogás por hora al año.**[41][42]

3.2 Análisis del biogás generado hacia la obtención de energía eléctrica

Para llegar a determinar la cantidad de energía eléctrica que va a resultar de utilizar el biogás como combustible primero tenemos que saber los compuestos que integran el biogás y en que concentraciones o porcentajes y la ecuación que relaciona el biogás con la generación de energía eléctrica.

El determinar los compuestos que integran el biogás ayuda a saber el poder calorífico que contiene el biogás, como ya se explicó el biogás es útil como combustible siempre y cuando tenga el 50 % o más de concentración de metano.

Tabla 3.3: Elementos químicos que contiene el biogás en porcentaje de concentración

Compuestos típicos que contiene un gas de vertedero de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU)		
Componente	Símbolo	Base Volumen Seco [%]
Metano	CH ₄	50 – 70
Dióxido de Carbono	CO ₂	35 – 55
Nitrógeno	N ₂	2 – 5
Oxígeno	O ₂	0.1 – 1
Sulfuros, Disulfuros, Mercaptanos, etc.		0 – 1.0
Amoniaco	NH ₃	0.1 – 1
Hidrógeno	H ₂	0 – 0.2
Monóxido de Carbono	CO	0 – 0.2

Fuente: AUTOR

Para poder determinar la cantidad de potencia que se obtiene al utilizar el biogás necesitamos saber los valores de energía del biogás o la cantidad de energía térmica que va ingresar al proceso, la cual viene dada por el biogás, donde la ecuación de la potencia de generación es:

$$P_{gen} = E_{BGI} * \gamma * \eta \quad (3.1)$$

Dónde:

P_{gen}: Potencia Generada

E_{BGI}: Energía Térmica que Ingresa a la Planta

γ: Eficiencia del sistema de recuperación de biogás

η: Eficiencia eléctrica de la tecnología utilizada

De donde se necesita establecer los valores o variables que se encuentran en la ecuación, comenzando con el valor de la energía térmica que ingresa a la planta, que es producto del Poder Calorífico Inferior (PCI) por el Volumen (V) de combustible que se quema para producirlo.

$$E_{BGI} = PCI_{BG} * V \quad (3.2)$$

De la expresión 3.2 tenemos otra variable que es el la cantidad de poder calorífico inferior de biogás (PCI_{BG}), el cual es el resultado del producto de la concentración de metano por el poder calorífico inferior del metano (PCI_{METANO})

$$PCI_{BG} = \%CH_4 * PCI_{Metano} \quad (3.3)$$

Y para resolver las ecuaciones el primer valor que debemos conocer es el poder PCI_{METANO} , valor que se puede encontrar fácilmente en tablas.

Tabla 3.4: Poder Calorífico Inferior del Metano

Poder Específico Metano			
PCI	=	33501	$\frac{kJ}{m^3}$
Inferior			
PCI	=	37270	$\frac{kJ}{m^3}$
Superior			

Fuente: AUTOR

Y una vez conocido el valor del PCI_{CH_4} y las ecuación que se interrelacionan podemos reemplazarlas en la ecuación 3.1 y obtener una ecuación final para la obtención del generación eléctrica.

$$P_{gen} = \%CH_4 * PCI_{CH_4} * V * \gamma * \eta \quad (3.4)$$

Como el valor del poder calorífico interno se da en kilo joulios (kJ) se necesita realizar una conversión de kJ a kilo watios hora (kWh), por lo cual se necesita utilizar la siguiente expresión

$$1kJ = 2.778 * 10^{-4} kWh$$

Los valores que falta por establecer son, la eficiencia de recuperación del sistema del

biogás y la eficiencia eléctrica de la tecnología utilizada, ya que estos valores definirán la potencia eléctrica final que posee el biogás como combustible.

Donde la eficiencia de recuperación depende del sistema de recuperación que se implemente para poder extraer el biogás generado en el vertedero, la eficiencia eléctrica de la tecnología utilizada es el valor en porcentaje que indica que eficiente es el sistema para convertir de energía térmica a energía eléctrica.

Ejemplo: Determinar la potencia generada de un vertedero donde la generación máxima de biogás es de 1500 m^3 , la eficiencia de recuperación es del 70%, la eficiencia de la tecnología utilizada es del 50%, la concentración de metano es del 60%.

Datos:

$\%CH_4$	=	60%
PCI_{CH_4}	=	33501 kJ/m^3
V	=	1500 m^3
γ	=	70%
η	=	50%

$$P_{gen} = \%CH_4 * PCI_{CH_4} * V * \gamma * \eta \quad (3.4)$$

$$P_{gen} = 0.6 * 33501 * 1500 * 0.7 * 0.5$$

$$P_{gen} = 10552815 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ kJ} = 2.778E^{-04} \text{ kWh}$$

$$P_{gen} = 2931.57 \text{ kW}$$

3.3 Modelización de la reducción de las pérdidas en la línea de distribución

Para realizar la modelización de reducción de las pérdidas en las líneas de distribución se toma como caso de estudio, una topología de la red en forma radial debido a que la gran mayoría de redes eléctricas en MT, se las construye o implementa de esta manera por diferentes circunstancias, una de las más importantes y por no decir la principal es el

crecimiento descontrolado de las poblaciones o asentamientos, no regulados por los municipios de cada ciudad los cuales reclaman de servicio eléctrico a las empresas eléctricas distribuidoras, lo que conlleva como consecuencia al aumento de pérdidas en la línea debido a la gran distancia que recorre la energía eléctrica hasta llegar al usuario final.

Las pérdidas en las líneas de distribución tienen dos factores principales los cuales son la gran cantidad flujo de corriente que atraviesan los conductores y la resistencia especificada de la línea la cual aumenta si la longitud de la misma es muy extensa.

Para disminuir las pérdidas que se producen en la línea se debe atacar ya sea uno de estos factores o si es posible a ambos.

Una de las alternativas más prácticas y la que más se analiza es el uso de GD para proporcionar energía de manera localizada y así disminuir el flujo de corriente y la distancia que recorre la energía desde la generación hasta el punto de consumo.

Para analizar el uso de GD en reducción de pérdidas se deben establecer algunos parámetros y restricciones como son:[43][30][39][44][45]

- El análisis del SEP en una configuración radial el cual proporciona dos casos de estudio:

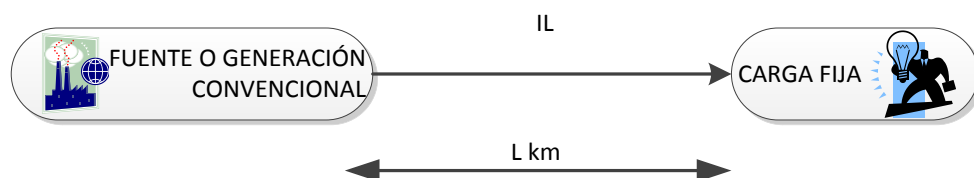


Figura 3.7a: Sistema eléctrico sin el ingreso de GD

Fuente: AUTOR

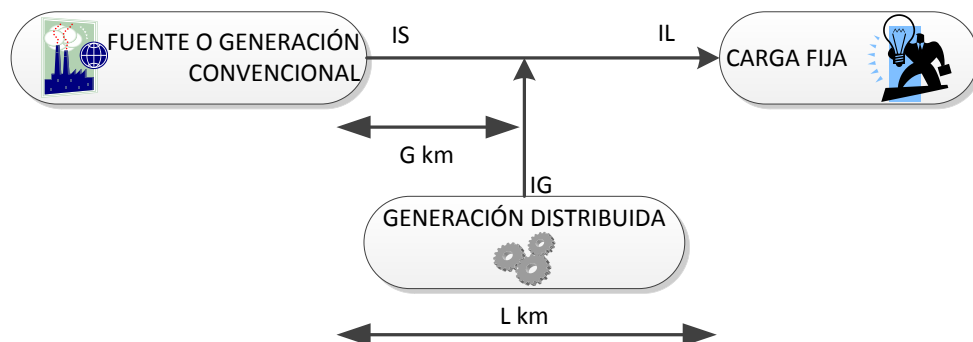


Figura 3.7b: Sistema eléctrico con el ingreso de GD

Fuente: AUTOR

- La carga o punto de consumo se asume que esta conectada en configuración estrella debido que es la más utilizada por los usuarios, para lo cual la **figura 3.7a** muestra que la corriente de la fuente (I_L) es igual a la corriente de la carga entonces se deduce que I_L es igual en todo el tramo.
- La carga absorbe potencia real de la fuente con el factor de potencia con la que este distribuyendo.
- La GD suministra potencia real de tal manera que pueda entregar o absorber factor de potencia de la línea de acuerdo a lo que necesite la carga.
- El voltaje de fase (RMS) de la carga esta dado por V_P con un angulo de desfase 0° .
- La potencia aparente que absorbe la carga es igual a:

$$S_L = P_L + jQ_L \quad (4.1)$$

S_L : Potencia aparente de la carga

P_L : Potencia real de la carga

jQ_L : Potencia reactiva de la carga

[25]

3.3.1 Análisis de pérdidas en la línea de distribución para un sistema sin GD

Analizando la figura 3.7a, sabemos que las pérdidas en la línea en un alimentador de distribución es igual a la ecuación 2.3 de la página 32 (producto de la corriente de línea al cuadrado por la resistencia de la línea) sabiendo que:[25][26][30]

$$S_L = 3 * V_P * I_L \quad (4.2)$$

Reemplazamos la ecuación 4.1 en la ecuación 4.2 y despejamos I_L

$$I_L = \frac{(P_L - jQ_L)}{3V_P} \quad (4.3)$$

En donde establecemos que las pérdidas en la línea de distribución sin GD se expresa con la siguiente forma.

$$P_A = I_L^2 * R \quad (4.4)$$

Dónde:

R: Resistencia de la línea de distribución

Donde la ecuación 4.3 se reemplaza en la ecuación 4.4 y obtenemos la expresión de las pérdidas en la línea para un sistema de GD (P_A)

$$P_A = \frac{R(P_L^2 + Q_L^2)}{3V_P^2} \quad (4.5)$$

Donde R es la resistencia del alimentador que depende de la resistencia específica del material que está hecho el alimentador y de la longitud de la línea:

$$R = r * L \quad (4.6)$$

r: Resistencia de la línea por fase y por longitud, Ω/km

La expresión 4.6 se reemplaza en la ecuación 4.5, y obtenemos las pérdidas en la línea para un sistema sin GD en función de la distancia y la resistencia específica del alimentador

$$P_A = \frac{r * L(P_L^2 + Q_L^2)}{3V_P^2} \quad (4.7)$$

3.3.2 Análisis de pérdidas en la línea de distribución para un sistema con GD

Analizando la figura 3.7b se deduce que con el ingreso de la GD se tiene una línea de distribución corta, por lo cual caída de tensión en la línea es despreciable, y que la potencia aparente viene dada por:[25] [26][30]

$$S_G = P_G + jQ_G \quad (4.8)$$

Dónde:

S_G : Potencia aparente de la GD
 P_G : Potencia real de la GD
 Q_G : Potencia reactiva de la GD

Del mismo análisis realizado para un sistema sin GD determinamos que la corriente de salida o generación de la GD es:

$$I_G = \frac{(P_G - jQ_G)}{3V_P} \quad (4.9)$$

I_G : Corriente de la GD

Realizando un análisis en conjunto con la integración de la GD se tiene dos escenarios:

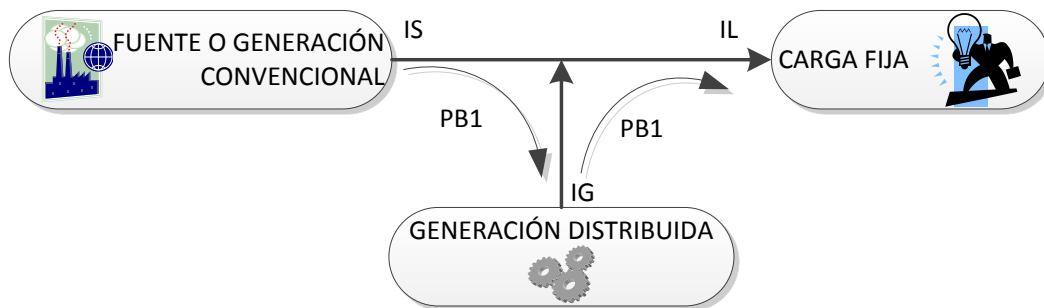


Figura 3.8: Pérdidas de línea con el ingreso de la GD

Fuente: AUTOR

- I. Las pérdidas en la línea desde la fuente hacia la localización de la GD (P_{B1})
- II. Las pérdidas en la línea desde la GD hacia la ubicación de la carga (P_{B2})

3.3.2.1 Pérdidas de la línea desde la fuente hacia la ubicación de GD

Analizando la figura 3.7b deducimos que:

$$I_S = I_L - I_G \quad (4.10)$$

I_S : Corriente desde la fuente hasta la GD

I_L : Corriente desde la GD hasta la carga
 I_G : Corriente de la GD

La expresión de las pérdidas en la línea desde la fuente hacia la ubicación de la GD se expresa como:

$$P_{B1} = I_S^2 * R_1 \quad (4.11)$$

Reemplazando la ecuación 4.10, 4.9 y 4.3 en la ecuación 4.11, obtenemos

$$P_{B1} = (I_L - I_G)^2 * R_1$$

$$P_{B1} = \left(\frac{(P_L - jQ_L)}{3V_P} - \frac{(P_G - jQ_G)}{3V_P} \right)^2 * R_1 \quad (4.12)$$

Dónde:

R_1 : $G * r$

Y desarrollando la ecuación 4.12, la expresión de las pérdidas desde la fuente hasta ubicación de la GD es:

$$P_{B1} = \frac{rG(P_L^2 + Q_L^2 + P_G^2 + Q_G^2 - 2P_L P_G - 2Q_L Q_G)}{3V_P^2} \quad (4.13)$$

G : Distancia desde la fuente hacia la ubicación de la GD, *km*

P_{B1} : Las pérdidas en la línea desde la fuente hacia la localización de la GD después de la inclusión de la GD

3.3.2.2 Pérdidas en la línea desde la GD hacia la ubicación de la carga

Las pedidas en la línea, de este tramo se muestra en la figura 3.7b, en donde indica que es la corriente es igual a I_L , que es el mismo valor que tenía antes del ingreso de la GD, por lo que la expresión de la reducción de las pérdidas se puede expresar como:

$$P_{B2} = I_L^2 * R_2 \quad (4.14)$$

Y conociendo la expresión de I_L (ecuación 4.3), reemplazamos en la ecuación 4.14

$$P_{B2} = \left(\frac{(P_L - jQ_L)}{3V_P} \right)^2 * R_2 \quad (4.15)$$

Donde R_2 es la resistencia específica del conductor desde la GD hacia la carga por lo que:

$$R_2 = r * D \quad (4.16)$$

Sabiendo que la distancia que recorre la potencia es menor con el ingreso de la GD por lo que la distancia se expresa de la siguiente manera

$$D = L - G \quad (4.17)$$

- L: Distancia desde la fuente hasta la carga
- G: Distancia desde la fuente hasta la GD
- D: Distancia desde la GD hasta la carga

Reemplazando las expresiones 4.16 y 4.17 en la ecuación 4.15 las pérdidas en la línea desde la GD hasta la carga se expresa como:

$$P_{B2} = \frac{r(L - G)(P_L^2 + Q_L^2)}{3V_P^2} \quad (4.18)$$

- P_{B2} : Pérdidas en la línea desde la fuente hacia la localización de la GD después de la inclusión de la GD

3.3.2.3 Pérdidas totales en la línea

Por lo tanto las pérdidas totales de la línea tomando en cuenta la combinación de las pérdidas desde la fuente hacia la GD, y desde la GD hacia la carga, es igual a la suma de las pérdidas parciales:

$$P_{TT} = P_{B1} + P_{B2} \quad (4.19)$$

Reemplazando los valores de P_{B1} , P_{B2} y R .

Dónde:

R : rL

$$P_{TT} = \left(\frac{rG(P_L^2 + Q_L^2 + P_G^2 + Q_G^2 - 2P_L P_G - 2Q_L Q_G)}{3V_p^2} + \frac{r(L - G)(P_L^2 + Q_L^2)}{3V_p^2} \right) \quad (4.20)$$

Desarrollando la ecuación de las pérdidas totales la expresión final queda:

$$P_{TT} = \frac{R}{3V_p^2} \left[P_L^2 + Q_L^2 + (P_G^2 + Q_G^2 - 2P_L P_G - 2Q_L Q_G) \left(\frac{G}{L} \right) \right] \quad (4.21)$$

P_{TT} : Las pérdida total en la línea después de la inclusión de la GD

3.3.3 Reducción de las pérdidas en la línea

La reducción de las pérdidas en la línea es la diferencia de las pérdidas con y sin GD por lo tanto:[25][26][30]

$$P_R = P_A - P_{TT} \quad (4.22)$$

Para definir la reducción de las pérdidas en la línea de distribución reemplazamos la ecuación 4.7 y la ecuación 4.21 en la ecuación 4.22.

$$P_R = \left(\frac{r * L(P_L^2 + Q_L^2)}{3V_P^2} - P_{TT} \right)$$

$$P_R = \frac{RG}{3V_P^2 L} (2P_L P_G + 2Q_L Q_G - P_G^2 - Q_G^2) \quad (4.23)$$

P_R: Reducción de la pérdidas en la línea después de la inclusión de la GD

3.3.4 Análisis de pérdidas en la línea por unidad

Una de las maneras normalizadas para presentar los beneficios de la GD es representando en factores por unidad, para lo cual a la ecuación de la reducción de la pérdidas después de la inclusión de la GD la dividimos para la pérdidas de la línea sin GD.[25][26][30]

$$RPU = \frac{P_R}{P_A} \quad (4.24)$$

Reemplazando la ecuación 4.23 y la ecuación 4.7 en la ecuación 4.24

$$RPU = \frac{\frac{RG}{3V_P^2} (2P_L P_G + 2Q_L Q_G - P_G^2 - Q_G^2)}{\frac{rL(P_L^2 + Q_L^2)}{3V_P^2}} \quad (4.25)$$

Dónde:

R: rL

Desarrollando la ecuación 4.25 la reducción de pérdidas por unidad queda expresada como:

$$RPU = \frac{G}{(P_L^2 + Q_L^2)L} (2P_L P_G + 2Q_L Q_G - P_G^2 - Q_G^2) \quad (4.26)$$

Y para definir la reducción de las pérdidas por unidad en porcentaje se utiliza la

siguiente expresión

$$\%RPU = RPU * 100 \quad (4.27)$$

3.4 Factor de pérdida en la línea de distribución en función del factor de potencia.

3.4.1 Posibilidad de retraso o adelanto del factor de potencia en la carga.

Cuando se tiene un factor de potencia en atraso, la carga absorbe potencia reactiva del sistema esto implica que la potencia reactiva (Q) es positiva, pero al contrario cuando la carga entrega potencia reactiva se tiene un factor de potencia en adelanto esto implica que Q es negativa.

Y desde el concepto del triángulo de potencias podemos expresar a Q en términos del factor de potencia.[25][26][30]

$$fp_L = \frac{P_L}{S_L} \quad (4.28)$$

Dónde:

P_R : Factor de potencia de la carga

P_L : Potencia activa de la carga

S_L : Potencia aparente de la carga

Y sabiendo que la potencia aparente se puede expresar de la siguiente manera

$$S_L = \sqrt{P_L^2 + Q_L^2} \quad (4.29)$$

Reemplazando la ecuación 4.29 en la ecuación 4.28, el factor de potencia de la carga se expresa como:

$$fp_L = \frac{P_L}{\sqrt{Q_L^2 + P_L^2}} \quad (4.30)$$

Desarrollando la ecuación 4.30 tenemos los siguientes términos y al final despejamos Q_L

$$fp_L^2(Q_L^2 + P_L^2) = P_L^2$$

$$Q_L^2 * fp_L^2 = P_L^2 - (fp_L^2 * P_L^2)$$

$$Q_L^2 * fp_L^2 = P_L^2(1 - fp_L^2)$$

$$Q_L^2 = \frac{P_L^2(1 - fp_L^2)}{fp_L^2}$$

$$Q_L = \sqrt{\frac{P_L^2(1 - fp_L^2)}{fp_L^2}}$$

De donde el valor de Q_L queda expresado como:

$$Q_L = \frac{P_L \sqrt{(1 - fp_L^2)}}{fp_L}$$

Y para términos de análisis realizamos un arreglo matemático que no altere nuestra función, y así poder establecer si tenemos una potencia de adelanto o atraso en la carga en cual consiste en adicionar el valor de (-1) elevado a nL.

$$Q_L = \frac{(-1)^{nF} P_L \sqrt{(1 - fp_L^2)}}{fp_L} \quad (4.31)$$

Donde en valor de nF es igual a.

nF = 1; para el valor del factor de potencia en adelanto de la carga

nF = 2; para el valor del factor de potencia en atraso de la carga

3.4.2 Posibilidad de retraso o adelanto del factor de potencia de la GD.

La GD tiene la posibilidad de trabajar en adelanto o atraso, de acuerdo a estos modos de operación la GD puede entregar o absorber potencia reactiva, si el factor de potencia está en atraso la GD está entregando potencia reactiva al sistema de distribución y los valores de Q son positivos. Si el factor de potencia está en adelanto la GD está absorbiendo potencia reactiva de la red de distribución y los valores de Q son negativos.

Del mismo análisis de dejar la potencia reactiva de la GD en función del factor de potencia, así como relacionar la potencia de la carga con la potencia de la GD tenemos:[25][26][30]

$$Q_G = \frac{(-1)^{n_G} Y P_L \sqrt{(1 - f p_G^2)}}{f p_G} \quad (4.32)$$

Donde en valor de n_F es igual a.

$n_G = 1$; para el valor del factor de potencia en adelanto de la GD

$n_G = 2$; para el valor del factor de potencia en atraso de la GD

$Y = P_G/P_L$; Relación entre la potencia de la carga con relación a la potencia generada por la GD.

3.4.3 Casos de funcionamiento de los factores de potencia.

De los análisis desarrollados en los ítems anteriores tenemos cuatro casos de funcionamiento en las que combinan los factores de potencia de la carga y de la GD.[25][26][30]

1. La GD opera con factor de potencia en atraso mientras la carga tiene un factor de potencia en adelanto
2. La GD opera con factor de potencia en atraso y la carga también en factor de potencia en atraso
3. La GD opera con factor de potencia en adelanto y la carga también en factor de potencia en adelanto
4. La GD opera con factor de potencia en adelanto y mientras la carga con un factor de potencia en atraso

Tabla 3.5: Casos de Funcionamiento de la GD y del carga

CASOS	pf _G (GD)			pf _L (CARGA)		
1	Atraso	Q+	Produce	Adelanto	Q-	Entrega
2	Atraso	Q+	Produce	Atraso	Q+	Absorbe
3	Adelanto	Q-	Absorbe	Adelanto	Q-	Entrega
4	Adelanto	Q-	Absorbe	Atraso	Q+	Absorbe

Fuente: AUTOR

Para poder determinar la reducción de las pérdidas por unidad en función de los factores de potencia y de la potencia reactiva reemplazamos en la ecuación 4.26, las expresiones 4.31 y 4.32, con lo que logramos obtener dos expresiones que satisfagan las condiciones mostradas en la tabla 3.5

3.4.3.1 Ecuación reducción de pérdidas por unidad para los casos 1 y 4

$$RPU1 = \frac{YG(fp_L)^2}{L} \left[2 - \frac{Y}{(pf_G)^2} + \frac{2\sqrt{1-(fp_L)^2}\sqrt{1-(fp_G)^2}}{pf_L * pf_G} \right] \quad (4.33)$$

RPU1 Reducción de pérdidas por unidad para los casos 1 y 4.

3.4.3.2 Ecuación reducción de pérdidas por unidad para los casos 2 y 3

$$RPU2 = \frac{YG(fp_L)^2}{L} \left[2 - \frac{Y}{(fp_G)^2} - \frac{2\sqrt{1-(fp_L)^2}\sqrt{1-(fp_G)^2}}{fp_L * fp_G} \right] \quad (4.34)$$

RPU2 Reducción de pérdidas por unidad para los casos 2 y 3.

Las siguientes expresiones las desarrollamos en simulink de Matlab en los cuales ponemos 3 casos de estudio para ver comportamiento de la Reducción de pérdidas en la línea de distribución. Todos los valores de la simulación están dados en valores por

unidad (pu).

Desarrollando las ecuaciones deducidas para la reducción de pérdidas en la línea se plantea un ejemplo, para visualizar su efecto de reducción que produce en línea de distribución.[25][26]

Datos:

P_G	=	0 – 4 pu
P_L	=	2 pu
f_{PG}	=	0.85
f_{PL}	=	0.85
D	=	0.5

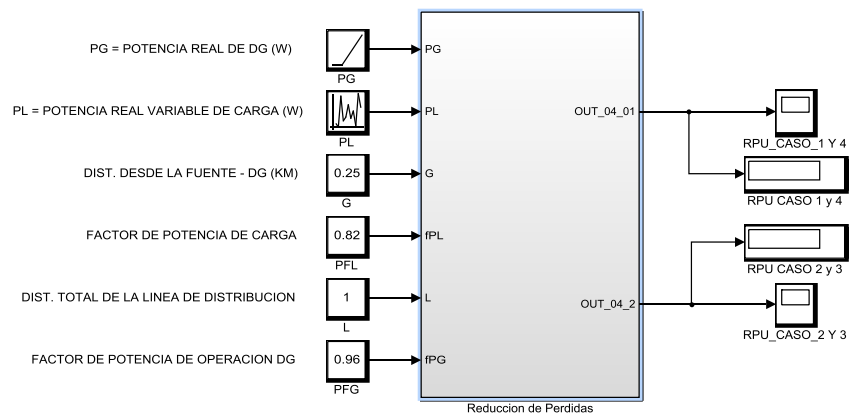


Figura 3.9: Modelamiento de las Ecuaciones

Fuente: AUTOR

El modelamiento de las ecuaciones se la realizo en Simulink de Matlab, la figura 3.9 muestra el entorno de ingreso de variables (lado izquierdo), y salida de resultados (lado derecho), la programación interna de cada uno de los bloques se adjunta en el Anexo B.

Simulación 1

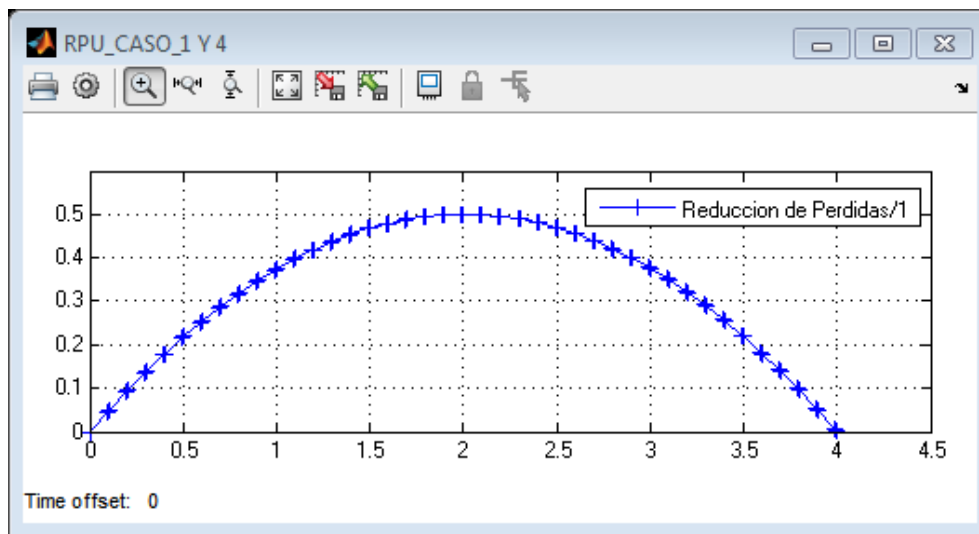


Figura 3.10: Porcentaje de Reducción de Pérdidas Ecuación 1

Fuente: AUTOR

Resultado Simulación 1

Los valores establecidos se ingresan a la primera ecuación que simula para los casos 1 y 4 de la tabla 3.5.

- Los resultados de la gráfica indican que la GD ayuda a reducir pérdidas en la línea siempre cuando la generación no sobrepase el de 2pu ya que pasado ese valor la GD en lugar de reducir pérdidas comienza a producir más pérdidas, y que el porcentaje máximo de reducción de la pérdidas es del 50%

Simulación 2

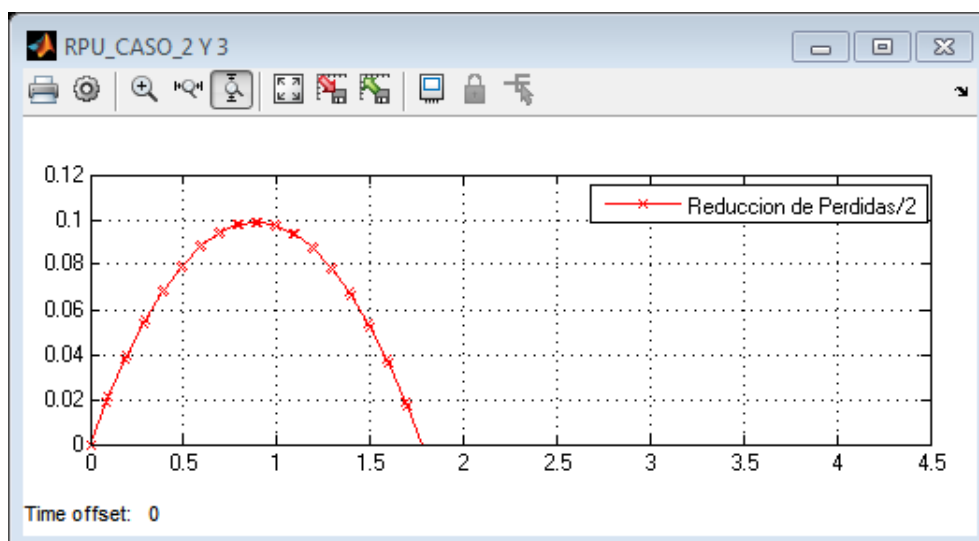


Figura 3.11: Porcentaje de Reducción de Pérdidas Ecuación 2

Resultado Simulación 2

Los valores establecidos se ingresan a la segunda ecuación que simula para los casos 2 y 3 de la tabla 3.5.

- Los resultados de la gráfica indican que la GD ayuda a reducir las pérdidas en la línea siempre cuando genere hasta un valor de 0.9pu ya que pasado ese valor la GD en lugar de reducir pérdidas comienza a producir más pérdidas, y que el porcentaje máximo de reducción de la pérdidas es del 10%

Ahora de los valores ingresados en la simulación variamos la ubicación de la GD y visualizamos cual es el resultado

Simulación 3

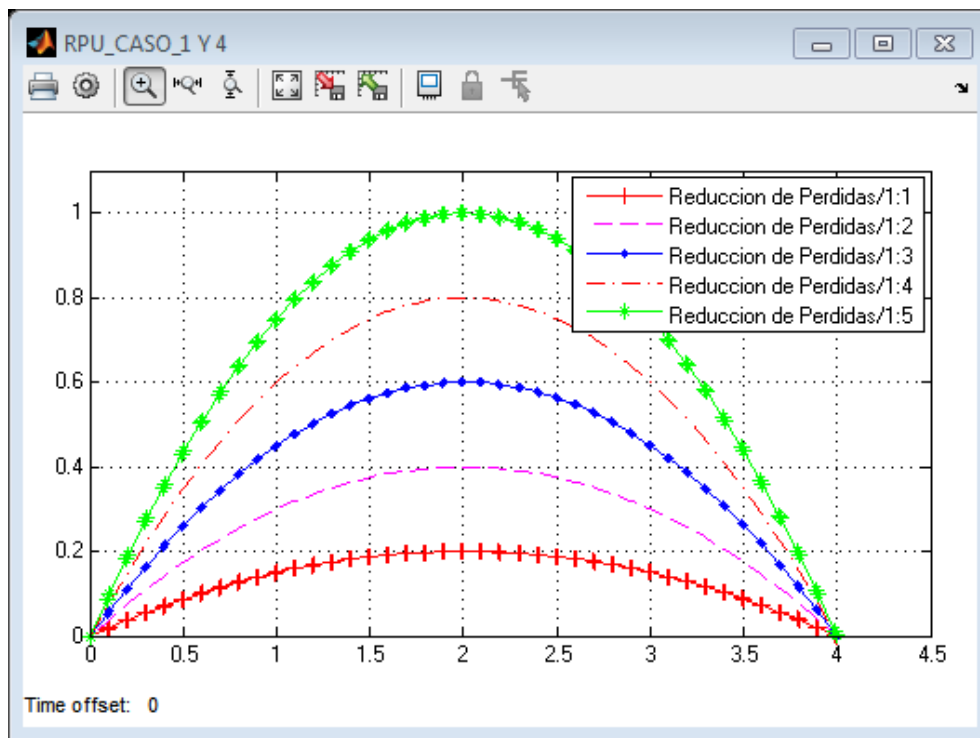


Figura 3.12: Reducción de la Pérdidas Variando la Ubicación de la GD Ecuación 1

Fuente: AUTOR

Resultado Simulación 3

Los valores establecidos se ingresan a la primera ecuación que simula para los casos 1 y 4 de la tabla 3.5.

- Los resultados de la gráfica indican que la GD ayuda a reducir más o menos

las pérdidas en la línea dependiendo de la ubicación, si se encuentra más alejado de la carga la reducción de la pérdidas es menor, al contrario si está más próximo a la carga la reducción de las pérdidas disminuyen significativamente al punto que las pérdidas se reduzcan al 100 %

Simulación 4

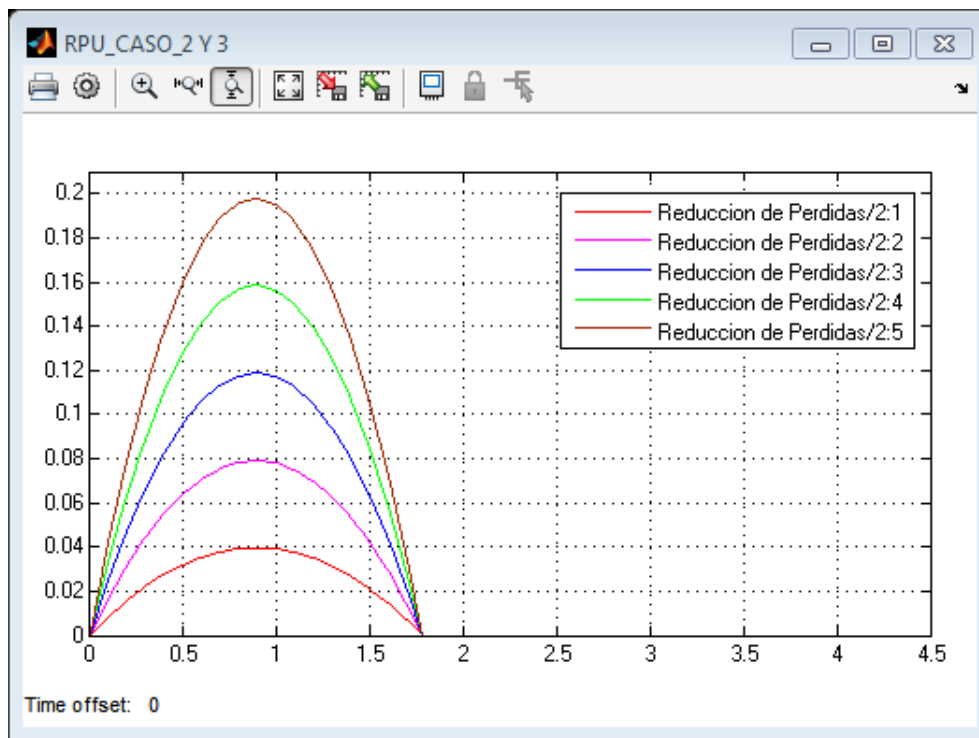


Figura 3.13: Reducción de la Pérdidas Variando la Ubicación de la GD Ecuación 2

Fuente: AUTOR

Resultado Simulación 4

Los valores establecidos se ingresan a la segunda ecuación que simula para los casos 2 y 3 de la tabla 3.5.

- Los resultados de la gráfica indica que la GD ayuda a reducir más o menos las pérdidas en la línea dependiendo de la ubicación, en este caso la reducción no es significativa ya que aunque se encuentre cerca de la carga lo máximo que puede reducir las pérdidas hasta es un 20%

De los resultados analizados podemos deducir que la primera ecuación es la que más apta y ayuda a reducir más las pérdidas en la línea, recordando la primera ecuación indica que la GD produce potencia reactiva y que la carga absorbe, así también cuando

la carga produce potencia reactiva pero la GD absorbe.

La siguiente gráfica se visualiza la reducción de la pérdidas de una ecuación 4.33 vs la ecuación 4.34

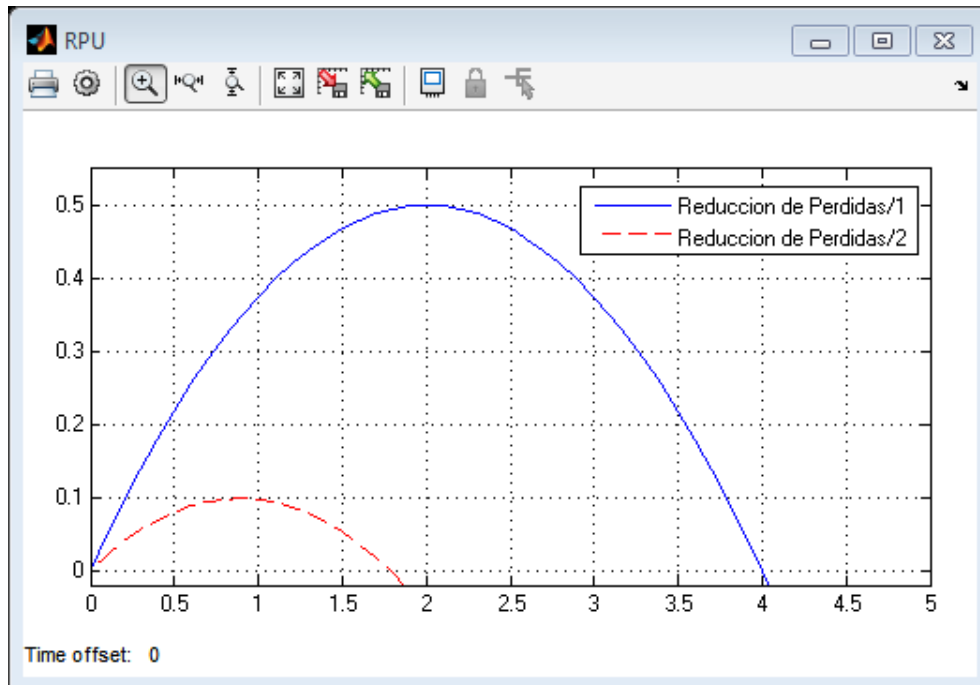


Figura 3.14: Relación de Reducción de Pérdidas de la Ecuación 4.33 vs Ecuación 4.34

Fuente: AUTOR

El resultado de la gráfica demuestra que la ecuación 4.33 es más eficiente al momento de reducir pérdidas en el sistema de distribución. Sabiendo que las condiciones de trabajo de la expresión 4.33 es:

Cuando la GD produce potencia reactiva y la carga la consume, así también cuando la carga genera potencia reactiva pero en este caso la GD absorbe esos reactivos.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS E INDICADORES

4.1 Rendimiento de un sistema de GD

4.1.1 Análisis de la reducción de pérdidas con carga variable.

El primer análisis de las ecuaciones para estimar la cantidad de reducción de pérdidas en la línea de distribución se las realiza para los casos del 1 al 4 de la tabla 3.5, con las siguientes restricciones:

- Ubicar la GD en el punto medio del alimentador entre la fuente y la carga
- Los factores de potencia de la carga y la GD son iguales
- Y el punto de consumo es una carga fija.

Donde la respuesta o resultado de la simulación mostro que se redujo hasta un 50% de las pérdidas en la línea para los casos 1 y 4, y del 20% para los casos 2 y 3

Ahora vamos analizar cómo se comporta la reducción de las pérdidas en la línea cuando se tiene una carga variable.

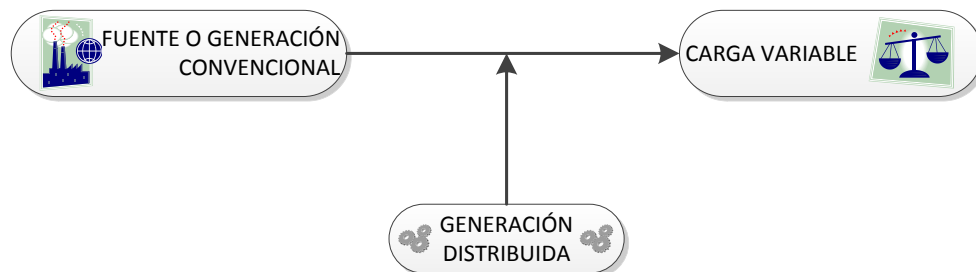


Figura 4.1: Sistema eléctrico con el ingreso de GD a una carga variable

Fuente: AUTOR

Caso 1.

Análisis de las ecuaciones 4.33 y 4.34 para una carga variable.

Datos

P_G	=	2 pu
P_L	=	Variable pu
f_{PG}	=	0.85
f_{PL}	=	0.85
D	=	0.5

Resultado 1 Caso 1.

Comparación de la reducción de las pérdidas con una carga fija versus una carga variable.

En la carga fija se aprecia que siempre se reduce el mismo porcentaje de pérdidas siempre y cuando no se sobrepase el valor de generación de 2pu.

En cambio en una carga variable se puede apreciar que existe periodos que no hace falta que la GD sobrepase el valor de 2pu para que comience a producir pérdidas en la línea debido a su generación, sino que depende de la caída abrupta de la carga.

En la gráfica 4.3 se muestra los periodos en los que, en lugar de ayudar a reducir pérdidas en la línea las produce, en estos periodos la GD no llega ni al 1 pu de la generación y tenemos como resultado que los valores máxima de reducción es del 51 % y los valores mínimos de reducción es del 8%. Y al contrario en los periodos de los que la GD produce pérdidas sus valores son superiores al 20%.

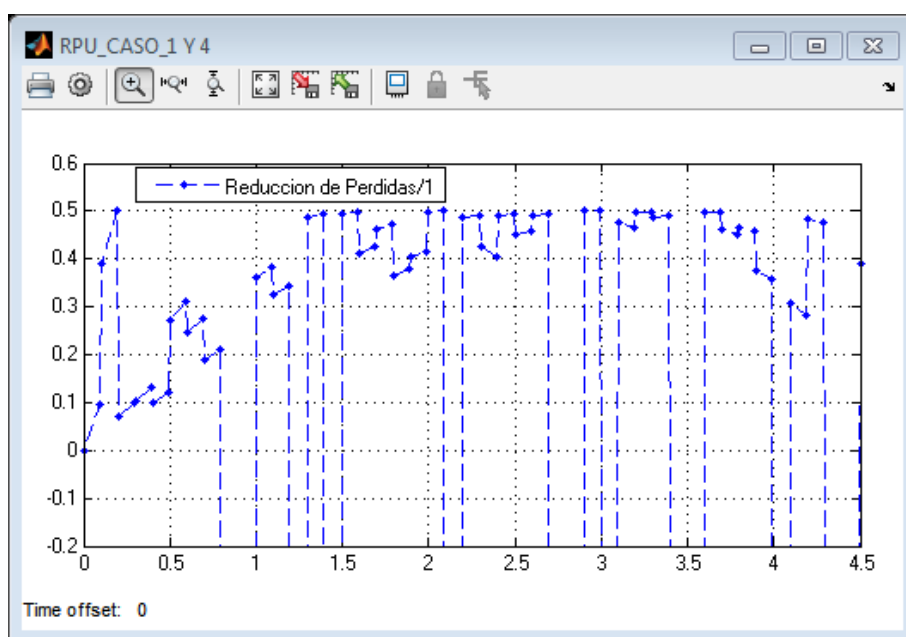


Figura 4.2: Comportamiento de reducción de pérdidas con carga variable para ecuación 4.33

Fuente: AUTOR

Resultado 2 Caso 1

El resultado de la gráfica 4.3 muestra la reducción de las pérdidas en la línea para la ecuación 4.34, con la diferencia que la reducción de las pérdidas se obtiene en menor porcentaje que los de la gráfica 4.2, donde la máxima reducción 9.87%, y la mínima reducción 1.35%

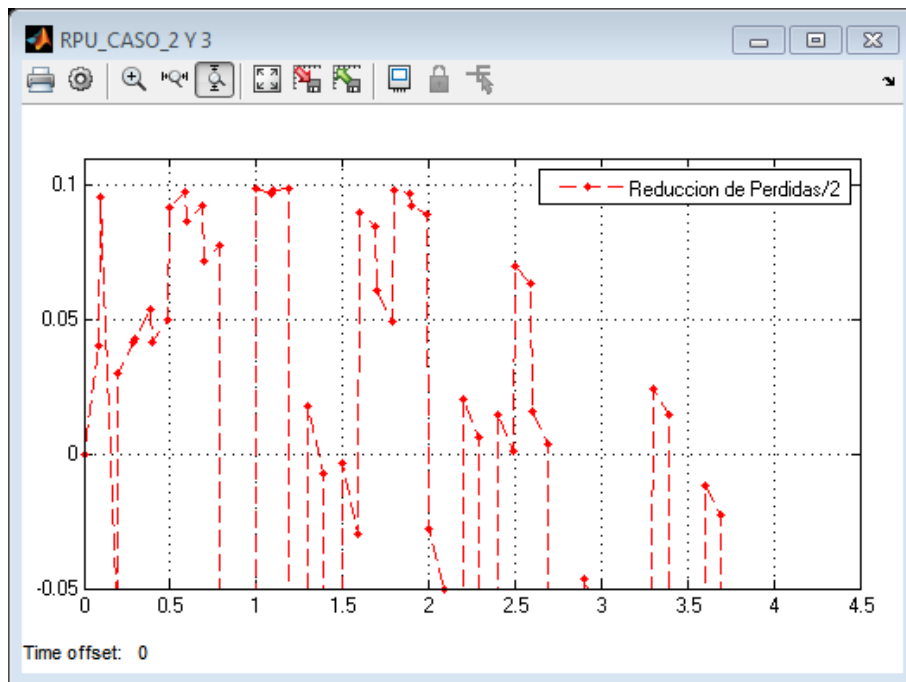


Figura 4.3: Comportamiento de reducción de pérdidas con carga variable para ecuación 4.34

Fuente: AUTOR

4.1.2 Análisis de la reducción de pérdidas con carga variable y ubicación diferente de la GD

Caso 2

El segundo caso de estudio, modela la utilización de la GD ubicándolo en diferentes sitios a lo largo de la línea de distribución.

Para el análisis solo tomamos dos distancias la primera cerca de la fuente de generación y la segunda cerca del punto de consumo para una carga con régimen de funcionamiento variable.

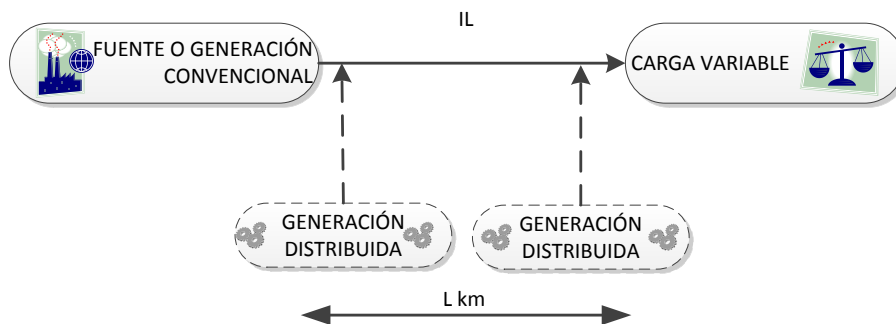


Figura 4.4: SEP con el ingreso de GD en diferentes ubicaciones a una carga variable

Fuente: AUTOR

La ubicación de la GD se localiza al 25% de la línea de distribución, desde la fuente de generación hacia la carga para la ecuación 4.33.

Datos

P_G	=	2 pu
P_L	=	Variable pu
f_{PG}	=	0.85
f_{PL}	=	0.85

Resultado 1 – Caso 2.

Al ubicar la GD lo más cerca de la fuente de generación, ejemplifica como si la fuente de generación está inyectando más potencia a la red con el inconveniente que tiene que recorrer la misma distancia hasta llegar al punto de consumo o carga.

Donde la reducción de las pérdidas en la línea disminuyen hasta en un 26.15% en su valor más alto y el mínimo es del 3.51% para la ecuación 4.33, tomando en cuenta que al ser una carga variable va tener caídas de consumo abruptas, por ende la GD va producir más pérdidas a la red en lugar de reducirlas.

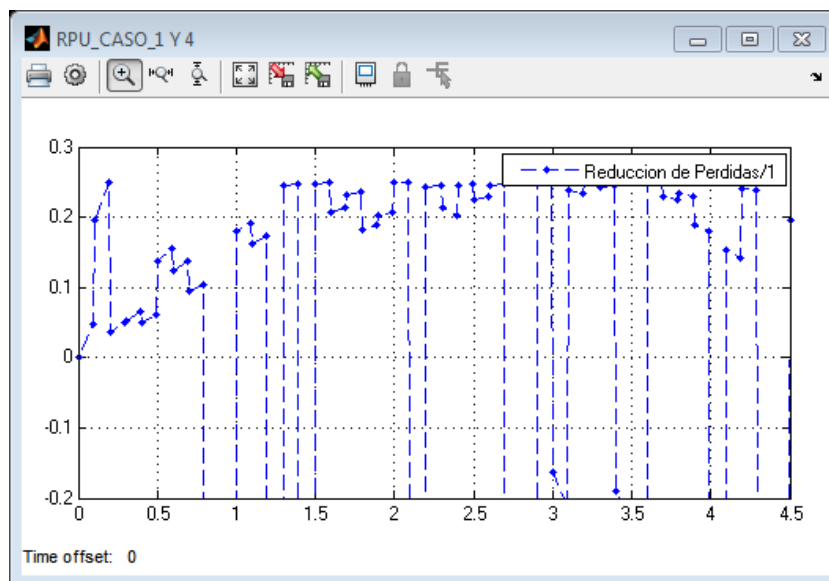


Figura 4.5: Comportamiento de reducción de pérdidas resultado 1 caso 2 (subcapítulo 4.1.2)

Fuente: AUTOR

Resultado 2 – Caso 2.

Ya siendo analizada la ecuación 4.34 se sabe que es la ecuación que menos ayuda a la reducción de pérdidas en la línea de distribución, debido a los modos de operación que se encuentran la GD como la de la carga. Donde la mayor reducción de pérdidas esta alrededor del 5% en su punto más alto y 1% en su punto más bajo, además visualizando la gráfica detenidamente existe más períodos en donde genera pérdidas en lugar de reducirlas.

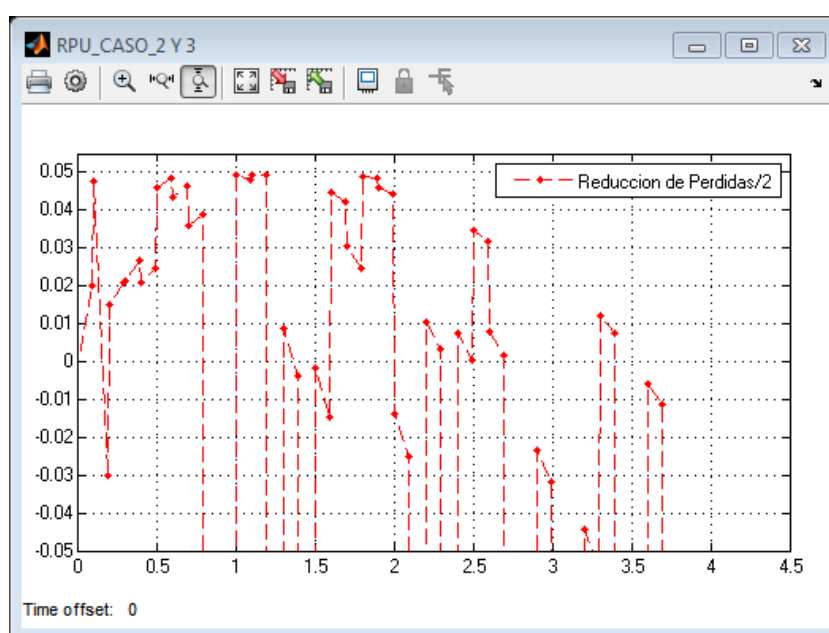


Figura 4.6: Comportamiento de reducción de pérdidas resultado 2 caso 2 (subcapítulo 4.1.2).

Fuente: AUTOR

Resultado 3 – Caso 2

La ubicación de la GD en este caso se encuentra al 90% del alimentador desde la fuente de generación hacia la carga

Al ubicar la generación cerca de una fuente de consumo, la distancia que recorre la potencia así como la corriente es menor, sabiendo las pérdidas dependen de la resistencia específica del conductor entre más largo el alimentador mayor es la resistencia específica las cuales dependen del producto de la corriente al cuadrado, por lo tanto en este punto las pérdidas son menores, y de acuerdo a la gráfica muestra que el punto más alto de reducción de pérdidas esta alrededor del 88.43% y el más bajo esta entre el 9%.

Sin olvidar que es una carga variable por lo tanto las pérdidas siempre van a variar y existir puntos en los que no se reduzca sino al contrario genere pérdidas en la línea.

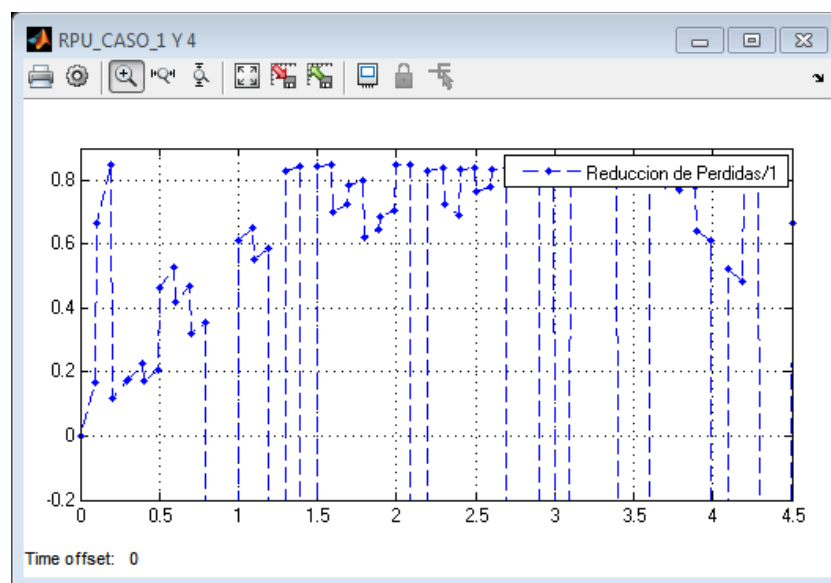


Figura 4.7: Comportamiento de reducción de pérdidas resultado 3 caso 2 (subcapítulo 4.1.2).

Fuente: AUTOR

Resultado 4 – Caso 2

Ya siendo analizada la ecuación 4.34 se sabe que es la ecuación que menos ayuda a la reducción de pérdidas en la línea de distribución, debido a los modos de operación que se encuentran la GD como la de la carga, donde la mayor reducción de pérdidas esta alrededor del 18% en su punto más alto y 7% en su punto más bajo, además visualizando la gráfica detenidamente existe más periodos en donde genera pérdidas en

lugar de reducirlas.

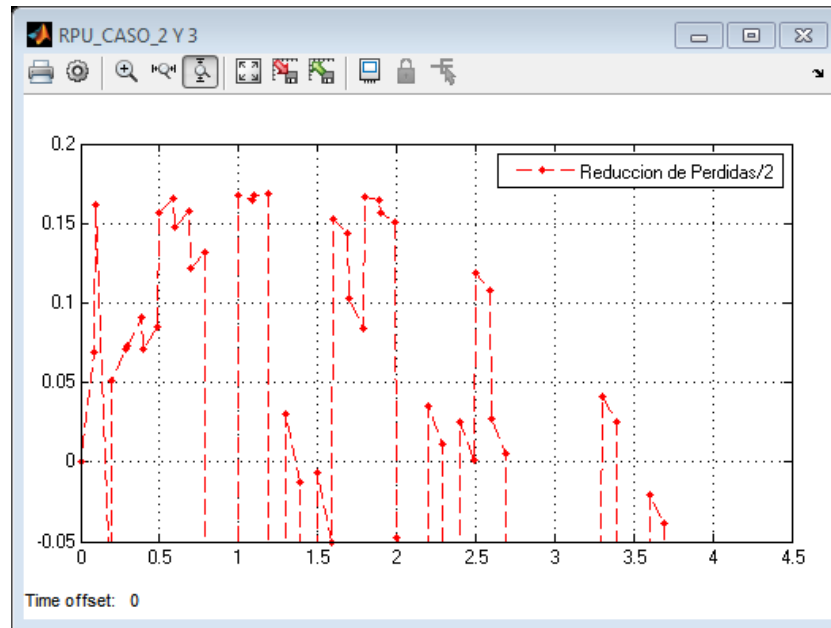


Figura 4.8: Comportamiento de reducción de pérdidas resultado 4 caso 2 (subcapítulo 4.1.2).

Fuente: AUTOR

4.1.3 Análisis de la reducción de pérdidas con carga variable, ubicación diferente de la GD y diferente factor de potencia entre la carga y la GD

Caso 3.

El último punto de análisis es ver cómo se comporta la reducción de pérdidas, cuando el factor de potencia varia, tanto en la carga como en la generación más el análisis de los puntos 4.1.1, 4.1.2.

Se asume la variación del factor de potencia en el lado del punto de consumo ya que las cargas no son 100% resistivas, al contrario es un conjunto entre, resistivas, inductivas (L) y capacitivas (C), como ya se explicó en el capítulo 2 al tener conectadas a la red cargas L y C, produce un desfase entre el voltaje y la corriente.

Viendo esto reflejado también en el triángulo de potencias sabemos que la potencia aparente se separa de la potencia activa formando un ángulo debido al aumento de la potencia reactiva

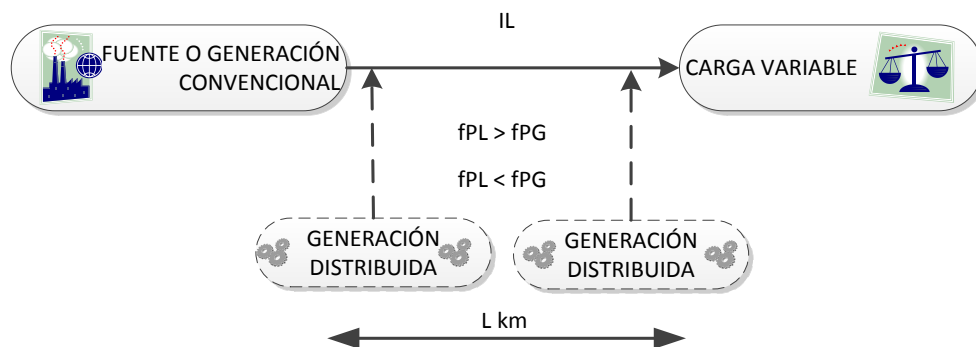


Figura 4.9: SEP con el ingreso de GD, diferente ubicación y distinto FP entre la carga y GD

Fuente: AUTOR

Para el primer análisis la ubicación de la GD se va localizar al 25% de la línea de distribución, desde la fuente de generación hacia la carga, el factor de potencia de la carga es mayor que el factor de potencia de la GD

Datos

P_G	=	2 pu
P_L	=	Variable pu
f_{PG}	=	0.82
f_{PL}	=	0.96
D	=	25%

Resultado 1 – Caso 3

Como se explicó en el caso 2 la GD cerca de la fuente solo repotencia la energía que se va enviar por la línea de distribución.

Ahora bien al tener un factor de potencia elevado cerca a la unidad en la carga, significa que tenemos un sistema que casi no genera muchas pérdidas en la línea, y que la GD solo ayuda un 22% de reducción de pérdidas producidas.

Pero las pérdidas en este caso son debido a la distancia que recorre la potencia hasta llegar al punto de consumo y el mínimo de reducción de pérdidas es del 3%, utilizando la ecuación 4.33.

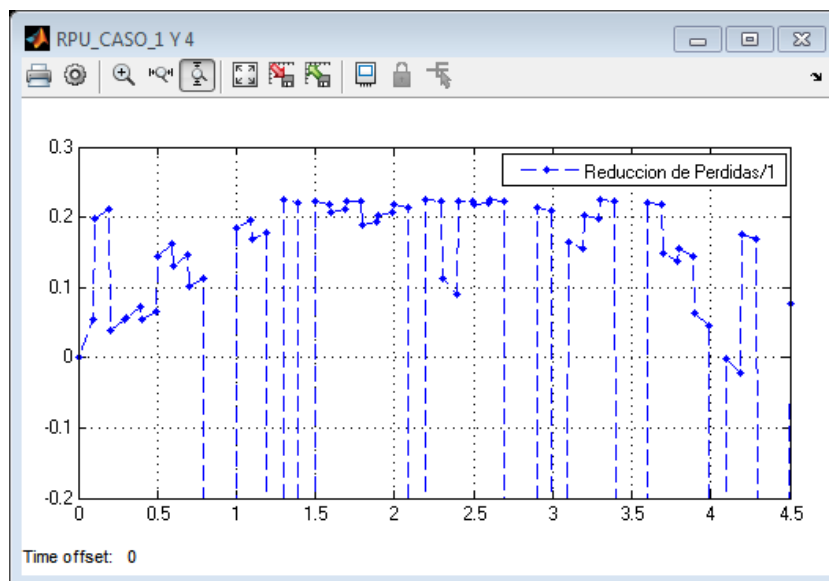


Figura 4.10: Comportamiento de reducción de pérdidas resultado 1 caso 3 (subcapítulo 4.1.3).

Fuente: AUTOR

Resultado 2 – Caso 3

Ya sabemos que con la ecuación 4.34, es la que menos ayuda a la reducción de las pérdidas, la máxima reducción es del 9% y el mínimo es del 2%

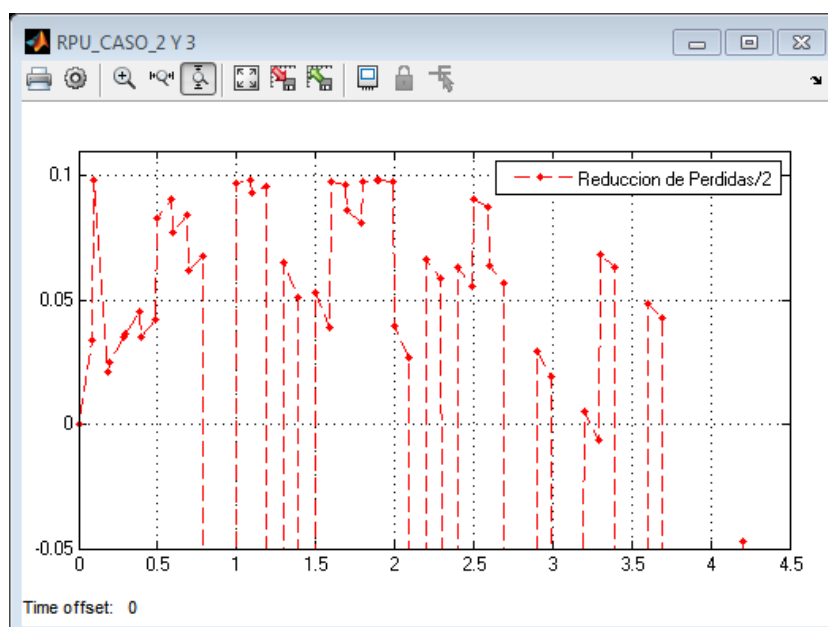


Figura 4.11: Comportamiento de reducción de pérdidas resultado 2 caso 3 (subcapítulo 4.1.3).

Fuente: AUTOR

Para este caso la ubicación de la GD está al 90% de la distancia del alimentador desde

la fuente de generación hacia la carga

Datos:

P_G	=	2 pu
P_L	=	Variable pu
f_{PG}	=	0.82
f_{PL}	=	0.96

Resultado 3 – Caso 3

Matemáticamente se demuestra que aunque el factor de potencia sea menor que la de la carga se sigue disminuyendo pérdidas y esto se debe a que la carga está absorbiendo el factor de potencia que está generando la GD.

Los valores de la máxima reducción que se da en este punto son del 81% y el mínimo 10%

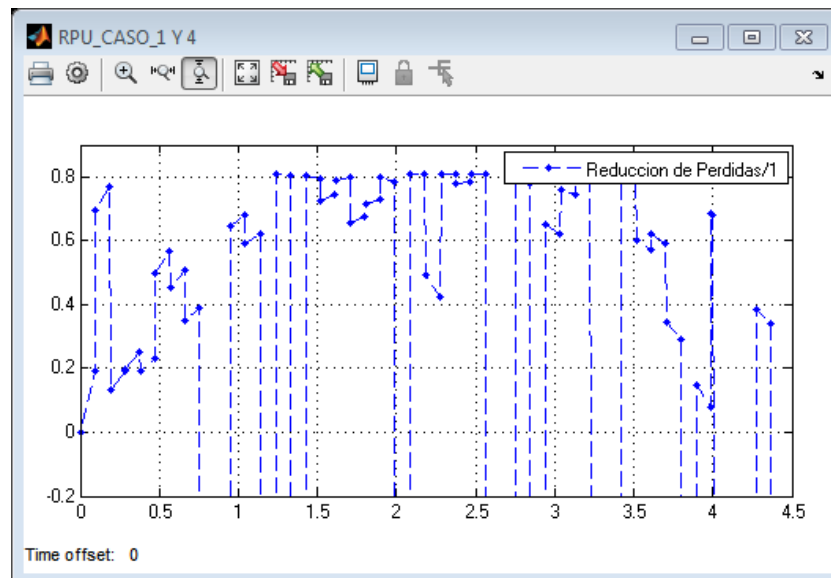


Figura 4.12: Comportamiento de reducción de pérdidas resultado 3 caso 3 (subcapítulo 4.1.3).

Fuente: AUTOR

Resultado 4 – Caso 3

La reducción de las pérdidas en estas condiciones sabiendo que la ecuación 4.34 es la que menos disminuye las pérdidas en línea, alcanza valores elevados a comparación de los otros casos de estudio y los valores máximos son del 36% y los mínimos es de 8%

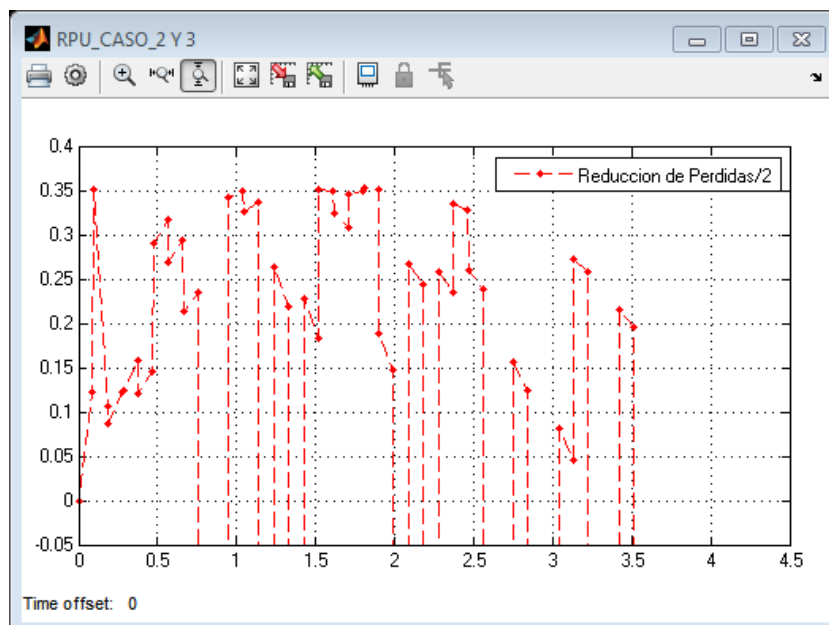


Figura 4.13: Comportamiento de reducción de pérdidas resultado 4 caso 3 (subcapítulo 4.1.3).

Fuente: AUTOR

En este caso la GD se encuentra ubicada al 25% de la distancia del alimentador desde la fuente de generación hacia la carga, con la diferencia que la GD tiene un factor de potencia mayor que la carga.

P_G	=	2 pu
P_L	=	Variable pu
f_{PG}	=	0.96
f_{PL}	=	0.82

Resultado 5 – Caso 3

Los efectos de la reducción de pérdidas en la línea son bajos aunque el factor de potencia de la GD es alta, pero se tiene que considerar la GD que se encuentra alejada del punto de consumo, donde ya se explicó que al estar cerca de la fuente de generación ayuda a inyectar más potencia y corriente a la red, pero tiene que recorrer una gran distancia hasta llegar al punto de consumo.

La reducción de pérdidas en el punto más alto esta alrededor del 22% y el punto mínimo de reducción es del 2%

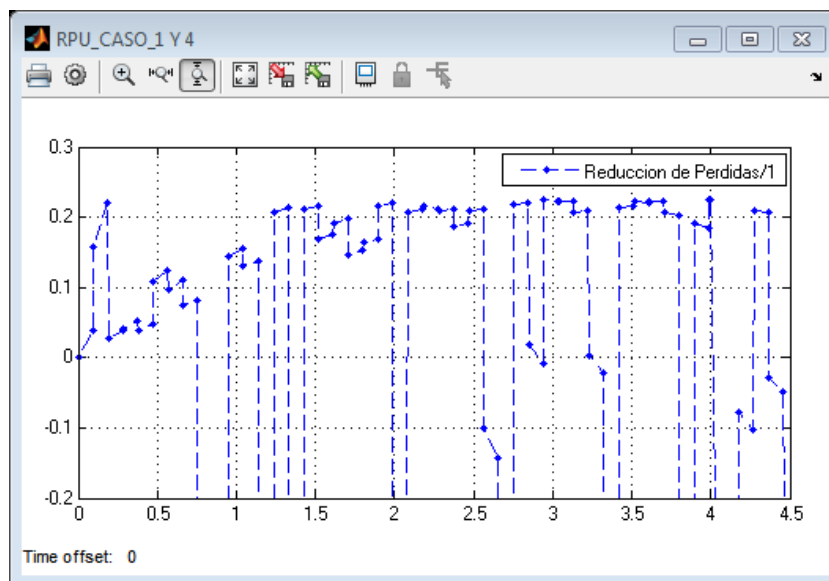


Figura 4.14: Comportamiento de reducción de pérdidas resultado 5 caso 3 (subcapítulo 4.1.3).

Fuente: AUTOR

Resultado 6 – Caso 3

La reducción de las pérdidas con la utilización de la ecuación 4.34, en su punto más alto es del 9%, y el valor mínimo de reducción es del 2.5%

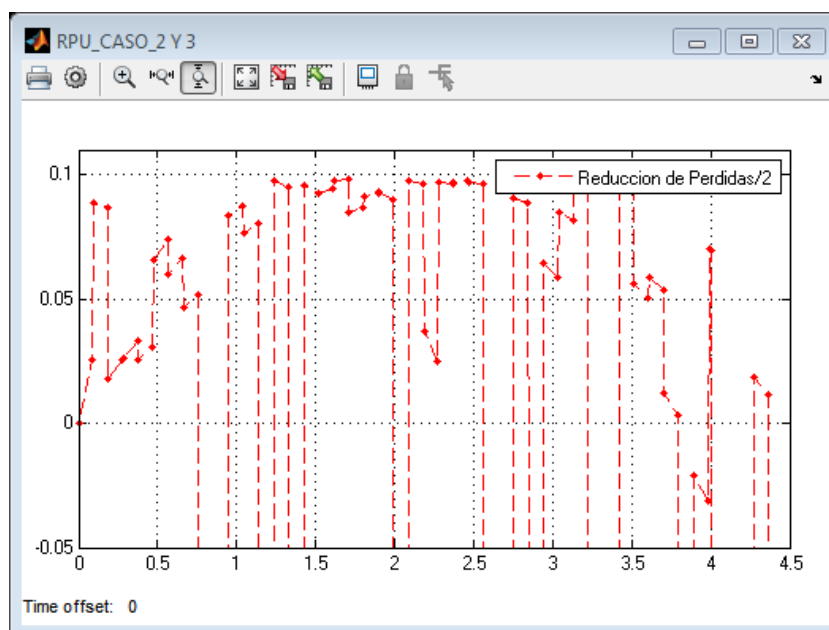


Figura 4.15: Comportamiento de reducción de pérdidas resultado 6 caso 3 (subcapítulo 4.1.3).

Fuente: AUTOR

En este caso la GD se encuentra ubicada al 90% de la distancia del alimentador desde la fuente de generación hacia la carga, con la diferencia que la GD tiene un factor de

potencia mayor que la carga

Resultado 7 – Caso 3

P_G	=	2 pu
P_L	=	Variable pu
f_{PG}	=	0.96
f_{PL}	=	0.82

Los valores de reducción de pérdidas en la línea en su punto más alto son del 80%, y en su punto más bajo es de 10%.

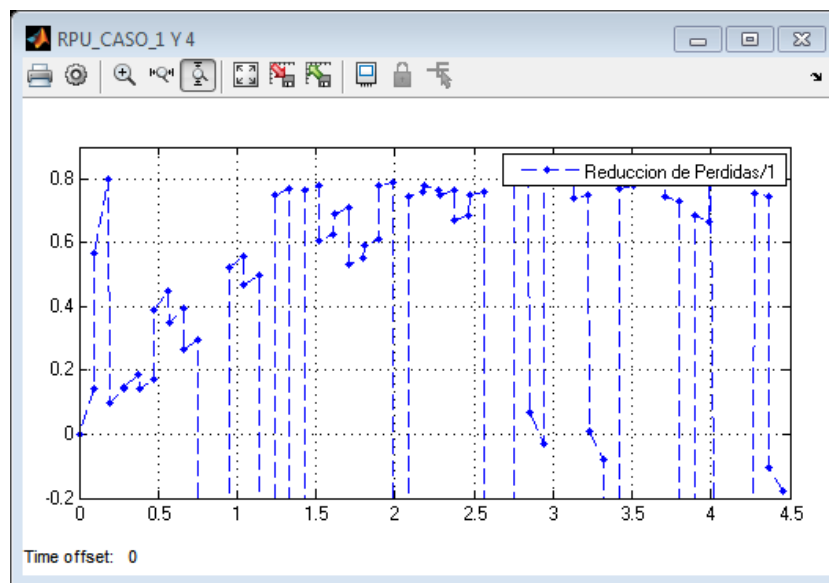


Figura 4.16: Comportamiento de reducción de pérdidas resultado 7 caso 3 (subcapítulo 4.1.3).

Fuente: AUTOR

Resultado 8 – Caso 3

Los valores de reducción de las pérdidas en línea de distribución analizando la ecuación 4.34, sabiendo que es la ecuación que menos rendimiento tiene.

Los valores de reducción en su punto más alto están al 35% y el punto más bajo es del 3%.

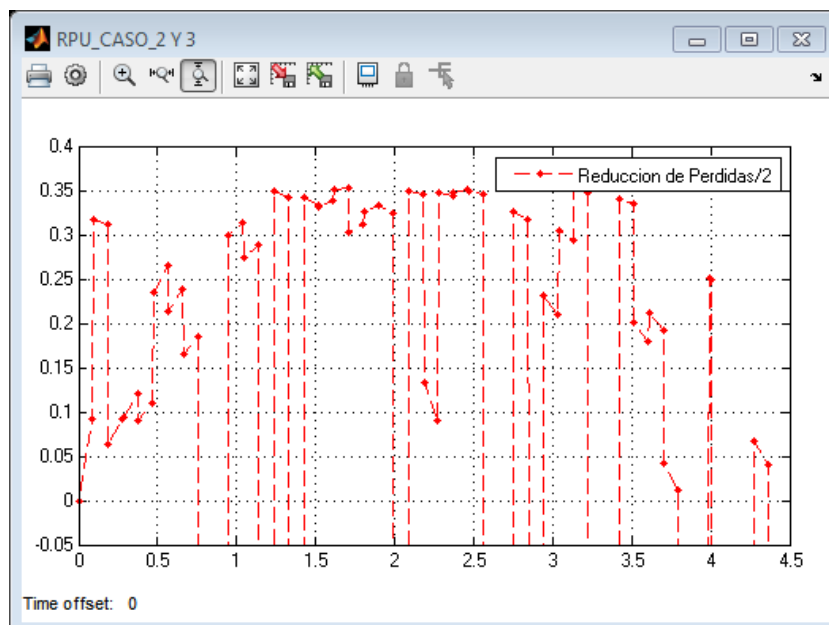


Figura 4.17 Comportamiento de reducción de pérdidas resultado 8 caso 3 (subcapítulo 4.1.3).

Fuente: AUTOR

4.2 Proyección de generación eléctrica con biogás

Determinar la proyección eléctrica al utilizar el biogás como fuente de combustible, se tiene que saber la cantidad o el volumen disponible, para realizar el proceso de conversión de combustible (energía interna/química) a energía eléctrica.

Este proceso de conversión lo realiza un agente intermediario que es eficiencia eléctrica de la tecnología utilizada que en nuestro caso es una máquina motriz, las cuales pueden ser máquinas de combustión interna (MCI), ciclo combinado, o microturbinas, cada una de estas máquinas motrices tienen su eficiencia al realizar el proceso de quema de combustible y la energía eléctrica entregada.

Se considera más la eficiencia de la máquina motriz para la proyección de energía eléctrica, debido a que en el proceso termodinámico de la quema combustible es donde se pierde más energía y solo una parte es entregada para la generación eléctrica, hay que entender que las máquinas motrices como su nombre lo indica entregan movimiento al eje de la máquina el cual está acoplado a un generador eléctrico y es ahí donde se produce la generación eléctrica y solo ese porcentaje de movimiento que se entrega al eje es útil.[46][47][48][49]

Tenemos que recordar la ecuación que relaciona el biogás con la potencia eléctrica generada, la cual se analizó en el capítulo 3.2

$$P_{gen} = \%_{CH_4} * PCI_{CH_4} * V * \gamma * \eta$$

Los parámetros que debemos saber es el porcentaje de metano que va a contener el biogás, el poder calórico del metano, el volumen que se posee para la generación eléctrica, la eficiencia de la recuperación y la eficiencia de la tecnología utilizada

El porcentaje de metano que va contener el biogás se lo debe considerar mayor igual al 50%, debido a que en estas concentraciones el biogás es útil como combustible por lo tanto como caso de estudio lo vamos a considerar al 50%, el poder calórico inferior del metano se lo encuentra en tablas (33501 kJ/m³).[17]

Para tener relación de lo ya analizado podemos partir de la estimación de biogás generado que se estudió en el capítulo 3.1, donde ya deducimos de acuerdo al modelamiento del biogás la proyección generada de biogás que es de 9600 metros cúbicos por año de un vertedero.

Pero esta cantidad de biogás no es útil para la generación eléctrica, debido a que este valor es una estimación total de biogás ahora tenemos que obtener el valor real para lo cual se determina la eficiencia de la extracción de biogás la cual depende de la tecnología utilizada, en este caso vamos a asumir que tenemos tres tipos de recuperación, baja (50%), media (75%) y alta (85%) donde, este valor es expresado en la ecuación con la sigla γ . [49]

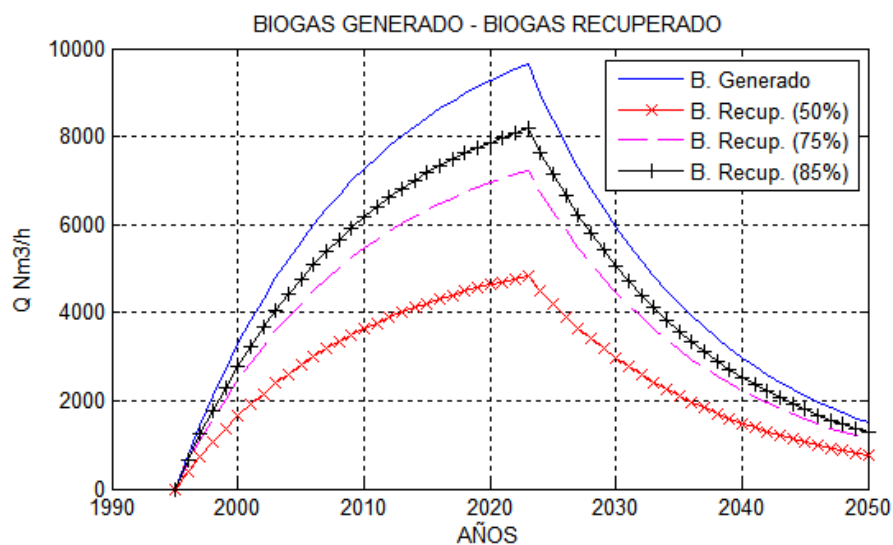


Figura 4.18: Biogás estimado vs biogás recuperado del vertedero

Fuente: AUTOR

Bajo = 50%

Medio = 75%

Alto = 85%

Bajo = 4800 Nm³/h

Medio = 7200 Nm³/h

Alto = 8160 Nm³/h

Ahora ya explicado que es la eficiencia eléctrica de la tecnología utilizada, los valores en porcentaje para las máquinas motrices nombradas son MCI = 25 – 45%, ciclos combinados = 25 – 35%, microturbinas = 20 – 30%, y para métodos de análisis de estudio adoptamos los valores más altos de cada máquina motriz. [17]

MCI = 45%

Ciclo Combinado = 35%

Microturbinas = 30%

Con los valores necesarios determinamos la potencia de generación de cada una de las máquinas motrices.

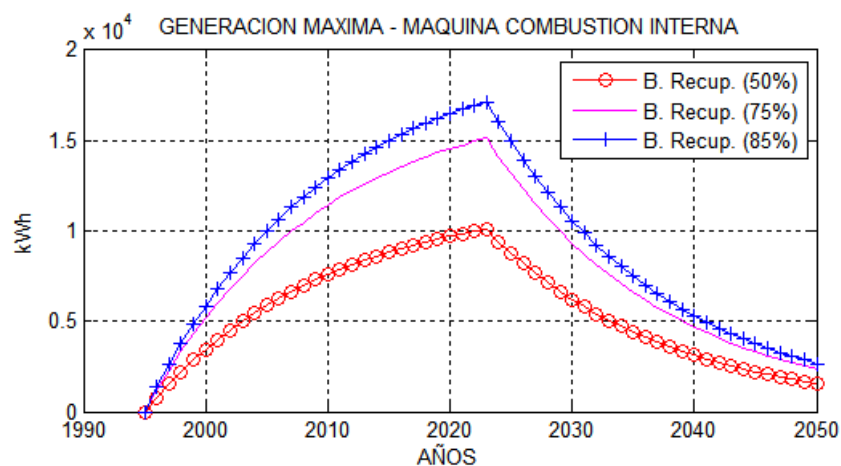


Figura 4.19: Generación máxima con una MCI, recuperación de biogás del 50%,75%,85%

Fuente: AUTOR

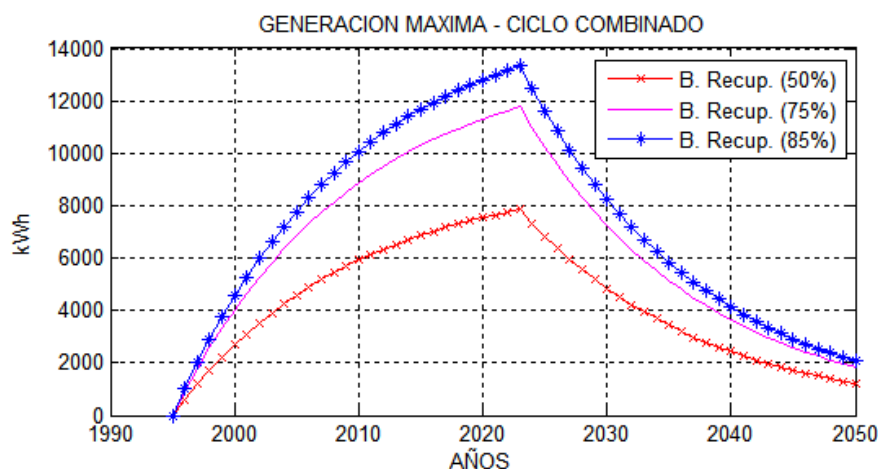


Figura 4.20: Generación máxima ciclo combinado, y recuperación de biogás del 50%,75%,85%

Fuente: AUTOR

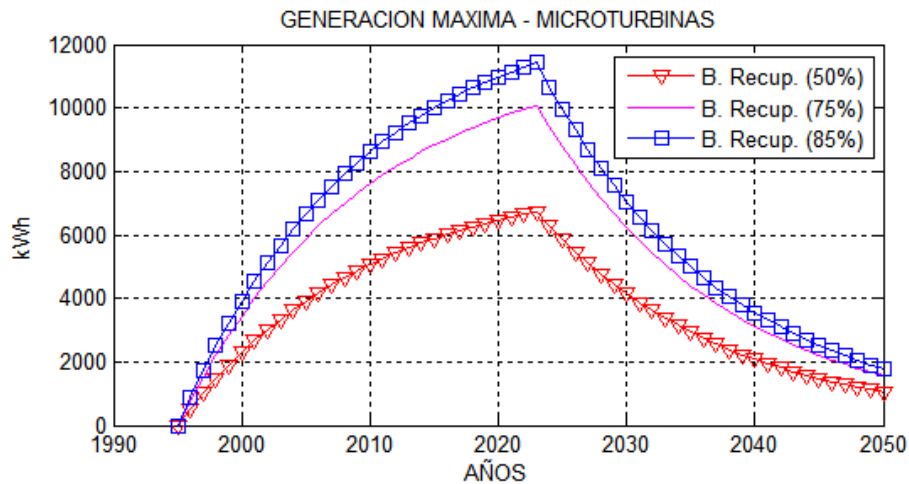


Figura 4.21: Generación máxima microturbinas, y recuperación de biogás del 50%,75%,85%

Fuente: AUTOR

Representando con valores, tenemos que el valor máximo de estimación de biogás es de 9600 Nm³/h y los valores de generación para cada máquina motriz se tabulan en la siguiente tabla:

Tabla 4.1: Potencia generada para cada máquina motriz

Máquina	Ef. Recup 1	Potencia 1 (kW)	Ef. Recup 2	Potencia 2 (kW)	Ef. Recup 3	Potencia 3 (kW)
MCI	0.5	10080	0.75	15120	0.85	17130
Ciclo. Combinado		7800		11500		13300
Microturbinas		6700		10000		11400

Fuente: AUTOR

4.3 Análisis comparativo con otras fuentes renovables

Para poder realizar un análisis comparativo con otras fuentes renovables vs el biogás como fuente de combustible de una manera sencilla sin realizar modelaciones complejas de los otros sistemas renovables, es estimar el área que se necesita para alojar la cantidad de biogás producido y comparar la misma área utilizando otras fuentes renovables, como punto de estudio analizamos con la energía solar y la energía eólica

ya que estas energías están dentro del contexto de GD (generación cerca de punto de consumo).

Para el caso de comparar con la energía solar debemos saber la cantidad de insolación que va tener el área en comparación la cual está en vatios sobre metro cuadrado (w/m^2), la tecnología a ocupar y la eficiencia del sistema.

Para comparar con la energía eólica debemos saber la cantidad de viento que va atravesar el aerogenerador y el diámetro del aerogenerador.

Para establecer el área que ocuparía el biogás producido debemos conocer el volumen de biogás estimado y de acuerdo a la modelación realizada en el capítulo 3, sabemos que la cantidad disponible de biogás es de 9600 metros cúbicos

El área que ocuparía el biogás es de aproximadamente una hectárea, lo que corresponde aproximadamente a una longitud de 100 metros, un ancho de 96 metros, y una altura de 1 metro.

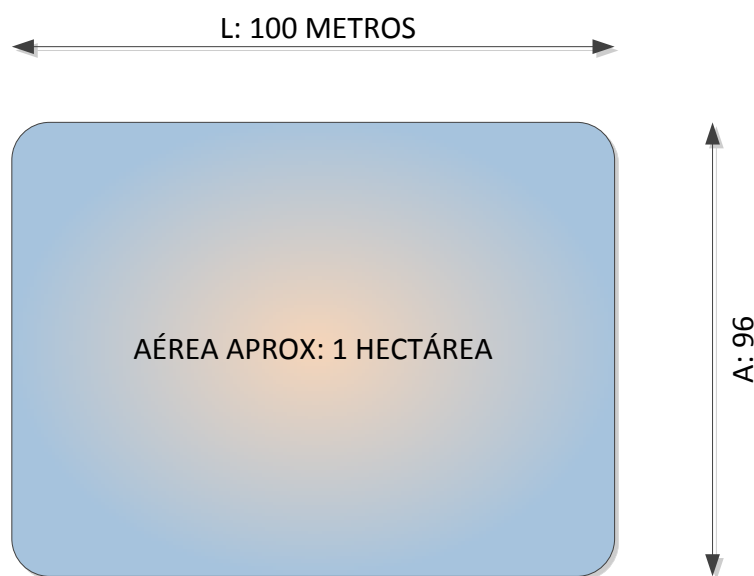


Figura 4.22: Área del Biogás estimado

Fuente: AUTOR

La capacidad máxima de generación eléctrica con el biogás, asumiendo que se utiliza todo el biogás producido y de acuerdo a tecnología aplicada ya analizada en el capítulo 4.2

Además sabemos que la más eficiente es la máquina de combustión interna a comparación de las otras máquinas motrices, por lo tanto valor máximo de generación eléctrica es:

$$P_{genBIOGÁS} = \%_{CH_4} * PCI_{CH_4} * V * \gamma * \eta$$

$$P_{genBIOGAS} = 20 \text{ MW}$$

Ahora para estimar la cantidad de energía que produciría un parque solar en un área de 1 hectárea, debemos saber la expresión que relacione la insolación solar con el área útil, y la eficiencia de la tecnología utilizada para la producción de energía eléctrica a base de potencial solar:[50][51][52]

$$P_{gen} = \eta * E * A_c * \# \text{ de paneles}$$

Dónde:

η	Eficiencia de la tecnología utilizada en porcentaje
E	Irradiación (w/m^2)[53]
A_c	Área superficial de la célula solar

La eficiencia de los paneles se encuentra entre el 12% y 25%, como caso de estudio tomamos el valor de 21.5% dato que se representa en muchos fabricantes, el dato de la irradiación solar, la adquirimos de la media aritmética de los valores del atlas solar del ecuador y el número de paneles que vamos a colocar en el área de comparación. [50][51][52]

$$P_{genSOLAR} = 21.5\% * 4153 \frac{w}{m^2} * 1.63m^2 * \# \text{ de paneles}$$

Aún nos falta definir la cantidad de paneles que se van colocar en el área de comparación, para ello dividimos el área total, para el área del panel.

$$\# \text{ de paneles} = \frac{\text{Area total}}{\text{Area panel}}$$

$$\# \text{ de paneles} = \frac{10000 \text{ m}^2}{1.63 \text{ m}^2}$$

$$\# \text{ de paneles} = 6134.97$$

Redondeando la cantidad de paneles la establecemos en:

$$\# \text{ de paneles} = 6135$$

Por lo que la potencia máxima que se tiene en de área de comparación es de:

$$P_{genSOLAR} = 8.92 \text{ MW}$$

Ahora para analizar la generación con energía eólica vamos a definir la expresión que se necesita para la generación eléctrica. de acuerdo al estudio realizado en “MODELO PARA EL ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LA FACTIBILIDAD DE MICROCENTRALES EÓLICAS PARA GENERACIÓN DISTRIBUIDA” realizada por el estudiante MANUEL ANTONIO MINANGO PAREDES, se tiene una ecuación de tendencia para generación eléctrica analizando que solo se toma en cuenta con diámetro máximo de rotor igual a 19.50 metros, con un viento promedio de 6.26 metros por segundo.[54][55]

Ecuación de tendencia de generación eléctrica

$$P_{genEÓLICA} = 0.1281 * D^{2.244}$$

Dónde:

D Diámetro del Rotor

$$P_{genEÓLICA} = 0.1281 * 19.50^{2.244}$$

$$P_{genEÓLICA} = 100.5510 \text{ W}$$

Ahora necesitamos determinar la cantidad de aerogeneradores que se ubicarían en el área de comparación, para lo cual dividimos el área en comparación para el área del aerogenerador.

$$Area_{gen} = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

$$Area_{gen} = 298.64 \, m^2$$

Número de aerogeneradores

$$\# \text{ de aerogeneradores} = \frac{Area \, Total}{Area \, Generador \, Eolico}$$

$$\# \text{ de aerogeneradores} = \frac{10000 \, m^2}{298.64 \, m^2}$$

$$\# \text{ de aerogeneradores} = 33.48$$

Donde aproximamos al superior determinamos que se puede colocar 34 aerogeneradores, ahora con esa cantidad determinamos la potencia máxima de generación

$$P_{genEOLICA}Total = P_{genEOLICA} * \# \text{ de aerogeneradores}$$

$$P_{genEOLICA}Total = 100.5510 * 34$$

$$P_{genEOLICA}Total = 3.36 \, MW$$

Realizando un comparativo total tenemos:

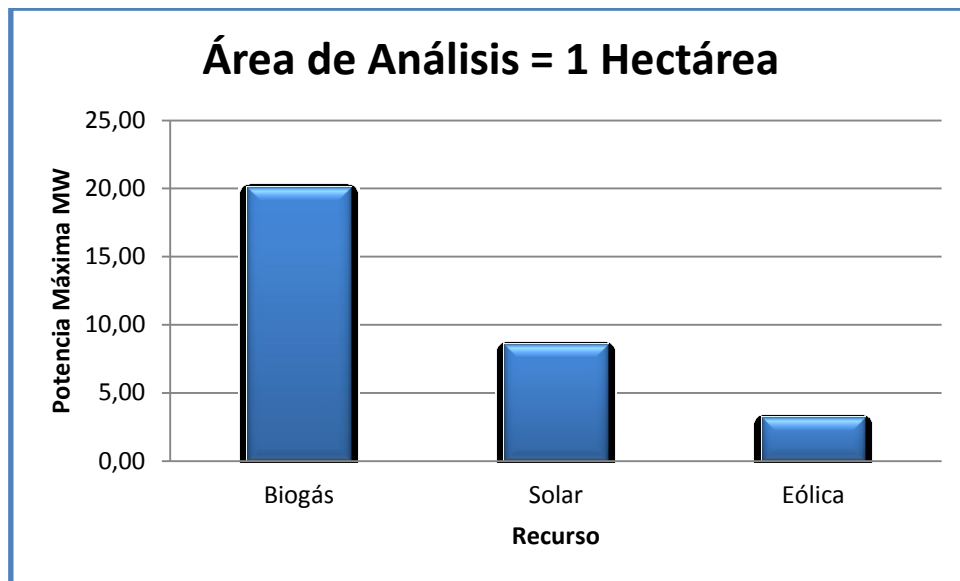


Figura 4.23: Comparación entre fuentes renovables

Fuente: AUTOR

Nos damos cuenta que al utilizar el volumen de 9600 metros cúbicos de biogás obtenemos más generación eléctrica que al ocupar paneles solares y aerogeneradores pero analizando en una área de 1 hectárea.

4.4 Impacto ambiental (Análisis de reducción de emisión de CO₂ al ambiente como reducción de impacto ambiental)

La utilización de GD utilizando una máquina motriz como fuente de generación eléctrica, la cual utiliza como combustible biogás genera menor cantidad de emisión de CO₂ al ambiente que los combustibles.

Considerando que en el biogás como elemento principal en su compuesto es el CH₄ en más alta concentración en comparación con el CO₂, produce o genera menos contaminación al ambiente al ser utilizado como combustible. Se puede estimar la cantidad CO₂ que se produce por la captura e incineración del biogás para la generación eléctrica mediante la siguiente formula.[56]

$$T_{CO_2eq} = \%V_{CH_4} * 21 * Q_{BG} * \rho_{CH_4} \quad (4.35)$$

Dónde:

T_{CO_2eq} = Toneladas totales generadas de CO₂

$\%V_{CH_4}$ = Porcentaje del volumen estimado de metano en el biogás

Q_{BG} = Cantidad de biogás estimado [Ton/año]

ρ_{CH_4} = Densidad del metano

Estimamos la máxima obtención de biogás para evaluar qué cantidad de CO₂ se produce al ambiente.

$$T_{CO_2eq} = 4800 * 21 * 6.90 * 0.0007168$$

$$T_{CO_2eq} = 498.54$$

Se puede establecer una comparación con otros combustibles y visualizar que cantidad de CO₂ produce cada uno de ellos con la misma estimación de volumen de biogás.

Para lo cual primero establecemos los valores de emisión de dióxido de carbono de los diferentes combustibles.[57]

Tabla 4.2: Emisión de CO₂ por combustible

1	Tonelada	Carbón	=	3,667	Tonelada CO2
1	Tonelada	Gas Natural	=	2,100	Tonelada CO2
1	Tonelada	Diésel	=	2,900	Tonelada CO2
1	Tonelada	CH4	=	2,340	Tonelada CO2
1	Tonelada	Gasolina	=	3,520	Tonelada CO2
1	Tonelada	Gas Licuado	=	2,800	Tonelada CO2
1	Tonelada	Petróleo	=	2,219	Tonelada CO2

Fuente: AUTOR

Para realizar la comparación debemos saber la densidad de cada uno de los combustibles.

Tabla 4.3: Densidad de los combustibles

Densidad	Carbón	=	2,267	Tn/m ³
Densidad	Gas Natural	=	0,610	Tn/m ³
Densidad	Diésel	=	0,832	Tn/m ³
Densidad	CH4	=	7,168E-04	Tn/m ³

Densidad	Gasolina	=	0,680	Tn/m ³
Densidad	Gas Licuado	=	0,535	Tn/m ³
Densidad	Petróleo	=	0,950	Tn/m ³

Fuente: AUTOR

Tabla 4.4: Masa de los combustibles con el mismo volumen de combustible

Volumen		Masa	
9600	Carbón	21763	Carbón
	Gas Natural	5856	Gas Natural
	Diésel	7987.2	Diésel
	CH ₄	6.88	CH ₄
	Gasolina	6528	Gasolina
	Gas Licuado	5136	Gas Licuado
	Petróleo	9120	Petróleo

Fuente: AUTOR

Con los valores obtenidos podemos establecer la cantidad de CO₂ emitido al ambiente

Tabla 4.5: Toneladas emitidas de CO₂ al ambiente de cada combustible

TCO₂ VALOR	
Carbón	79805.65
Gas Natural	12297.60
Diésel	23162.88
CH₄	16,10
Gasolina	22978.56
Gas Licuado	14380.80
Petróleo	20237.28

Fuente: AUTOR

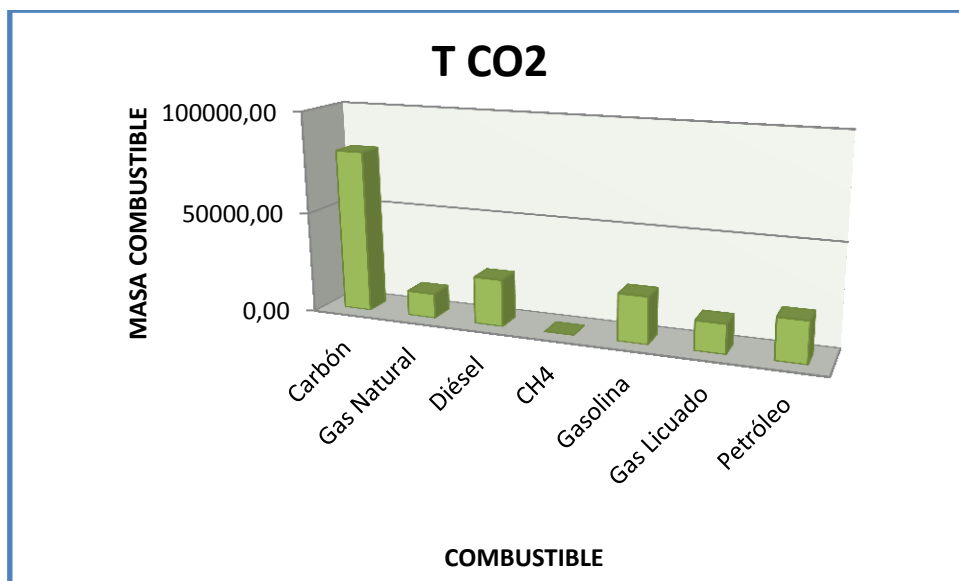


Figura 4.24: Cuadro en barras de emisión de CO² al ambiente de cada combustible

Fuente: AUTOR

Tabla 4.6: Toneladas emitidas de CO₂ al ambiente de cada combustible en porcentaje

%TCO2	
Carbón	46,16%
Gas Natural	13,21%
Diésel	28,68%
CH4	0,03%
Gasolina	39,90%
Gas Licuado	41,54%
Petróleo	100,00%

Fuente: AUTOR

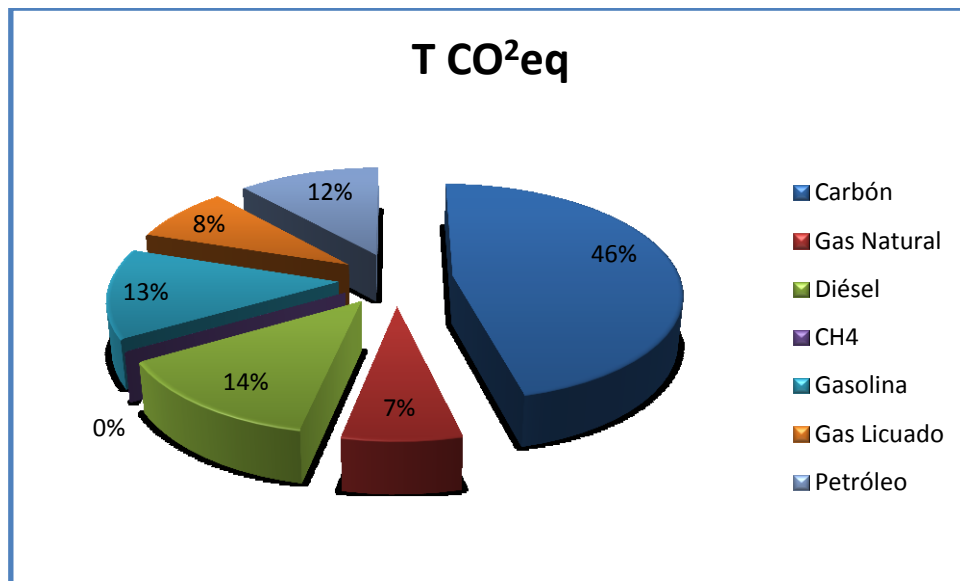


Figura 4.25: Pastel en porcentaje de la emisión de CO² al ambiente

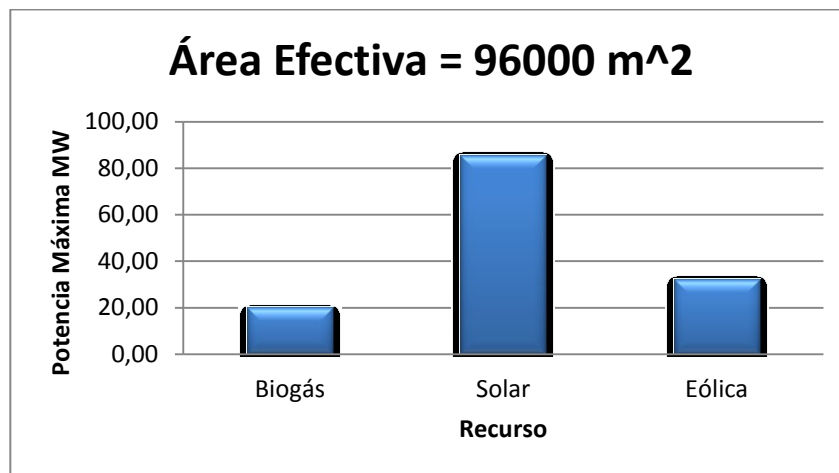
Fuente: AUTOR

Nos damos cuenta que con el mismo volumen de combustible el biogás es el que menos contamina y que el mayor contaminante es el carbón.

CONCLUSIONES

1. Se debe considerar que el biogás es útil como combustible únicamente si la concentración de metano en el biogás es mayor o igual al 50 % para que pueda existir combustión en los casos de las máquinas de combustión interna, sin olvidar que de la cantidad total de energía que ingresa a la MCI solo un 35 – 40% se utiliza para la producción de potencia eléctrica y el restante se pierde en el ambiente en forma de calor.
2. Aunque la maquina motriz tenga una eficiencia pequeña de salida para la obtención de potencia eléctrica, la utilización del biogás como fuente de combustible se muestra favorable para la generación de energía eléctrica de manera continua, y en algunos casos podría soportar el abastecimiento de carga base en sistema de distribución pequeños, configuraciones microrred o tipo isla.
3. La resolución del modelamiento muestra que las pérdidas en la línea se reducen más cuando la ubicación de la generación distribuida se encuentra más cerca de la carga, aunque el factor de potencia con la que se está generando sea menor que el factor de potencia del punto de consumo, esto se da siempre y cuando los escenarios del sistema eléctrico sean que: la GD entregue potencia reactiva a la red y la carga la consuma, o la carga provoque potencia reactiva y la GD absorba la misma, donde estos escenarios son de operación ideal y no llegan al punto de conflicto, donde la GD y la carga están entregando potencia reactiva a la red.
4. Al hacer un análisis comparativo de una energía renovable con otra nos damos cuenta que el biogás tiene un alto grado para la generación eléctrica aunque la maquina motriz tenga una eficiencia baja, que al compararla con la solar o la eólica, pero esto no es 100% real ya que el espacio que ocupa el biogás analizado en el capítulo 4.3, está tomando en cuenta con secciones de volumen de un 1 metro de largo, 1 metro de ancho y 1 metro de altura, con lo que el área efectiva es pequeña, pero si tomáramos al biogás y lo extendemos lo más

posible el área va crecer significativamente, con lo que se va poder instalar más paneles solares o más aerogeneradores.



Si extendemos el biogás y lo dejamos con una altura de 10 cm tenemos un área efectiva de 96000 m², con lo que la generación solar y la eólica crecen y el biogás se mantiene en el mismo valor de generación. Este análisis solo se toma de manera de estudio, ya que cada máquina tiene ser analizada de manera independiente y de manera no empírica.

5. El sistema de generación distribuida utilizando el biogás como combustible tiene gran ventaja a comparación de otros sistemas que también utilizan recursos renovables como la solar y eólica, ya que estos son lábiles debido a la intermitencia de su fuente de origen, en un lado el la energía solar está presente en pocas horas del día asumiendo que es un día despejado pero en días de nubosidad la energía solar es mucho más baja, por otro lado la energía eólica depende de las ráfagas de aire que en varía de acuerdo a las estaciones climatológicas del año, por lo que la generación distribuida tiene gran ventaja la cual puede ser utilizada en despacho programado de energía.
6. La Generación Distribuida hoy en día está aportando datos importantes para la implementación de sistemas de gestión eléctrica debido a que en estos sistemas se puede obtener valores puntuales de un sistema eléctrico como son los flujos de potencia, potencia reactiva ingresada y absorbida de red, factor de

potencia de operación de la GD así como factor de potencia de la carga, con los que se puede disminuir el índice de fallas, ya que se puede estimar y programar el cambio de diferentes equipos que conforman el sistema de distribución, realizar un control óptimo de la potencia reactiva, mejorar la calidad de voltaje, optimizar el despacho energético, y lo más importante la moderación del crecimiento real de la red distribución la cual depende de la demanda

7. El modelamiento de reducción de pérdidas en la línea realizado en el presente trabajo tiene una alta efectividad, cuando se analiza para carga de índole fijo y no variable, en donde se muestra que la GD produce pérdidas cuando en su generación sobrepasa el valor de 2 por unidad, en cambio cuando se analiza con carga variable no es necesario que pase el valor de 1 por unidad para que la GD comience a producir pérdidas en la línea, esto se debe que la carga tiene una variabilidad en el tiempo de acuerdo al utilidad que le dan los usuarios, por la que la maquina motriz va a sentir los cambios abruptos de subidas y bajadas de potencia, haciendo que la maquina se acelere o frene de manera desmedida y al no tener un control automático de carga llega al punto que el sistema es ineficiente y desencadenaría fallos totales del sistema.

RECOMENDACIONES

1. Se debe realizar investigaciones completas de los vertederos existentes para así poder utilizar el biogás que se genera en estos sitios e implementar centrales de generación en los verteros ya cerrados, y así repotenciar el sistema de distribución, o en casos de mejor enfoque servir de energía a poblados alejados, por lo que se debe incentivar a la empresa privada, instituciones municipales, entidades universitarias y principalmente a las entidades regentes del sector eléctrico dar el auspicio para la investigación y la implementación de estos proyectos, tomando en cuenta que la emisión de CO₂, es muy baja a con la utilización de biogás.
2. Se debe crear políticas para el manejo, tratamiento y depósito de los RSU desde los hogares para así poder aprovechar al máximo el nivel energético que contienen los RSU, y poder reemplazar los combustibles convencionales, por biogás, con lo que se lograría la disminución de contaminación al ambiente por dos frentes no se contamina la ciudad a causa de la basura y no se emiten grandes cantidades de CO₂ al ambiente, que contienen los combustibles tradicionales.
3. Hoy en día gran parte del biogás producido en los vertederos se lo está quemando o venteando sin darle utilidad alguna, se debería procesar este gas y buscarlo alguna aplicación ya que también es útil en el reemplazo de GLP, o de combustible en sistemas de calentamiento de agua o calefacción de ambientes
4. El modelo presentado debe ser analizado en conjunto son un sistema de control de carga – velocidad para la máquina motriz, para ver el comportamiento frente a una carga variable y obtener un comportamiento más óptimo del sistema de distribución, y así poder afinar el sistema de reducción de pérdidas, ya que al perder carga en el generador produce una elevación en la frecuencia lo que se vería reflejado en calor siempre y cuando el valor voltaje no este menor del 105%, en cambio cuando hay una elevación repentina de carga la frecuencia disminuye de tal manera que puede llegar a

causar inestabilidad en el sistema, caídas de voltaje de generación, colapso de voltaje así como falla total del sistema.

REFERENCIAS

- [1] C. Superior and D. E. I. Industriales, “Universidad politécnica de valencia,” 2005.
- [2] G. C. Sepulveda J., “La generación distribuida en España,” 2012.
- [3] H. Puttgen, “Distributed generation: Semantic hype or the dawn of a new era?,” *Power Energy ...*, no. february 2003, 2003.
- [4] D. Trebolle, “La generación distribuida en España,” 2006.
- [5] F. de la E. de la C. de Madrid, “Guía Básica de la Generación Distribuida,” p. 65, 2007.
- [6] E. O. H. M, R. M. Palomino, and S. Member, “Distribuida a la red de la compañía suministradora,” p. 2009, 2009.
- [7] E. T. Jauch and L. S. Member, “Smart Grid Volt / Var Management : Challenges of Integrating Distribution DG,” 2011.
- [8] C. Mozina, “A tutorial on the impact of distributed generation (DG) on distribution systems,” *Prot. Relay Eng. 2008 61st Annu. ...*, pp. 591–609, 2008.
- [9] C. N. de Energia, “Reglamento interconexión generación distribuida 1,” vol. 1, p. 84, 2012.
- [10] R. Saint and N. R. Friedman, “The application guide for distributed generation interconnection-the NRECA guide to IEEE 1547,” *2002 Rural Electr. Power Conf. Pap. Present. 46th Annu. Conf. (Cat. No. 02CH37360)*, pp. D2–1–5, 2002.
- [11] T. S. Basso and R. D. DeBlasio, “IEEE P1547-series of standards for interconnection,” *2003 IEEE PES Transm. Distrib. Conf. Expo. (IEEE Cat. No.03CH37495)*, vol. 2, pp. 556–561, 2003.
- [12] B. S. IDAE I., *Biomasa: Digestores Anaerobios*. 2007, p. 48.
- [13] M. de Energía, “Manual de Biogás01,” vol. 1, p. 119, 2011.
- [14] J. Mallick, K. L. Narayana, S. Khuntia, D. Singh, and R. Barik, “Biogas generation from leafy biomass & vegetable wastes by application of ultrasound,” *2009 1st Int. Conf. Dev. Renew. Energy Technol.*, pp. 1–4, Dec. 2009.
- [15] F. García, F. J. Colomer, F. Robles, and G. Aranda, “Análisis comparativo entre los modelos de generación de biogás aplicados a las emisiones de un relleno sanitario en México,” p. 6, 2008.
- [16] U. S. Epa, “Manual de Usuario Modelo de Biogás de Ecuador,” 2009.

- [17] M. A. B. Yunus A Cengel, *Termodinámica*. 2009, p. 1048.
- [18] Stevenson W., *Analisis de sistemas electricos de potencia stevenson*. 1999, p. 385.
- [19] F. R. Quintela, “La energía reactiva y la disminución de las pérdidas en distribución de energía eléctrica,” p. 9, 1996.
- [20] E. D. E. Distribución and A. Al, “Escuela politécnica nacional,” 2007.
- [21] V. H. Orejuela Luna, “Beneficios Económicos devla Aplicación del PPlan de Reducción de Pérdidas en el Ecuador,” p. 20, 2014.
- [22] J. M. A. Soriano and M. A. Serrano, “Ciclo De Histéresis,” 2004.
- [23] M. Begovi, A. Pregelj, and A. Rohatgi, “Impact of Renewable Distributed Generation on Power Systems,” vol. 00, no. c, pp. 1–10, 2001.
- [24] G. W. Ault, J. R. McDonald, and G. M. Burt, “Strategic analysis framework for evaluating distributed generation and utility strategies,” *IEE Proc. - Gener. Transm. Distrib.*, vol. 150, no. 4, p. 475, 2003.
- [25] P. Chiradeja, “Benefit of Distributed Generation: A Line Loss Reduction Analysis,” pp. 1–5, 2005.
- [26] G. Celli, M. Loddo, F. Pilo, and A. Abur, “On-line network reconfiguration for loss reduction in distribution networks with Distributed Generation,” *Electr. Distrib. 2005. ...*, no. June, pp. 6–9, 2005.
- [27] a. M. Azmy and I. Erlich, “Impact of distributed generation on the stability of electrical power systems,” *IEEE Power Eng. Soc. Gen. Meet.*, pp. 1337–1344, 2005.
- [28] M. Pipattanasomporn, M. Willingham, and S. Rahman, “Implications of On-Site Distributed Generation for Commercial/Industrial Facilities,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 20, no. 1, pp. 206–212, Feb. 2005.
- [29] J. Viera, I. Sector, and E. De Distribución, “Criterios de conexión de Generación Distrbuida: perspectiva del Distribuidor,” pp. 1–5, 2006.
- [30] F. M. González-longatt, “Impact of Distributed Generation over Power Losses on Distribution System,” 2007.
- [31] Y. Xue, G. S. Member, L. Chang, S. Member, and J. Meng, “Dispatchable Distributed Generation Network - A New Concept to Advance DG Technologies,” vol. 3, pp. 1–5, 2007.
- [32] M. Fila, G. a. Taylor, J. Hiscock, M. R. Irving, and P. Lang, “Flexible voltage control to support Distributed Generation in distribution networks,” *2008 43rd Int. Univ. Power Eng. Conf.*, pp. 1–5, Sep. 2008.

- [33] Y. X. G. D. B. James A. Momoh, "An Approach to Determine Distributed Generation (DG) Benefits in Power Networks," p. 7, 2008.
- [34] A. Kumar and W. Gao, "Voltage profile improvement and line loss reduction with distributed generation in deregulated electricity markets," *TENCON 2008 - 2008 IEEE Reg. 10 Conf.*, pp. 1–6, Nov. 2008.
- [35] F. A. Viawan, S. Member, D. Karlsson, and S. Member, "Coordinated Voltage and Reactive Power Control in the Presence of Distributed Generation," 2008.
- [36] C. Reis, A. Andrade, and F. P. Maciel, "Voltage stability analysis of electrical power system," *2009 Int. Conf. Power Eng. Energy Electr. Drives*, vol. 0, pp. 244–248, Mar. 2009.
- [37] A. Foss, S. Member, and K. Leppik, "Protection Challenges facing Distributed Generation on Rural Feeders," 2010.
- [38] C. Gao, "A Review of Voltage Control Techniques of Networks with Distributed Generations using On-Load Tap Changer Transformers," pp. 3–8, 2010.
- [39] H. Iyer, S. Member, S. Ray, R. Ramakumar, and L. Fellow, "Assessment of Distributed Generation Based on Voltage Profile Improvement and Line Loss Reduction," pp. 1–6, 2010.
- [40] a. Gopi and P. A.-D.-V. Raj, "Distributed generation for line loss reduction in radial distribution system," *2012 Int. Conf. Emerg. Trends Electr. Eng. Energy Manag.*, pp. 29–32, Dec. 2012.
- [41] "Informes Técnicos 2013 - 2014." [Online]. Available: <http://www.emgirs.gob.ec/index.php/operaciones/informes-tecnicos-2013>. [Accessed: 22-Feb-2015].
- [42] EMGIRS-EP, "INFORME GOP MAYO 2014.pdf," p. 12, 2014.
- [43] F. Magnago and C. Massei, "Impacto de la Generación Distribuida Sobre las Pérdidas en Redes de Distribución Eléctrica," 2006.
- [44] K. Dang, J. Yu, T. Dang, and B. Han, "Benefit of distributed generation on line loss reduction," *2011 Int. Conf. Electr. Control Eng.*, pp. 2042–2045, Sep. 2011.
- [45] A. Foss, S. Member, and K. Leppik, "Distributed Generation Grid Connection Experiences Minimizing High Voltage Equipments," no. August, pp. 1–5, 2013.
- [46] S. M. González, *Producción y Recuperación Del Biogás En Vertederos Controlados De Residuos Sólidos Urbanos: Análisis de Variables y Modelización*. 1997.
- [47] Z. Yanning, K. Longyun, C. Binggang, H. Chung-neng, and W. Guohong, "Simulation of Biogas Generation," vol. 4, 2009.

- [48] J. Cadena Z., J. Mora F., and S. Pérez L., “Análisis de viabilidad financiera de una central de generación de energía eléctrica a partir del biogás de vertedero,” *Sci. Tech.*, no. 51, p. 7, 2012.
- [49] A. F. Panesso, J. A. Cadena, and M. C. Ordoñez, “Estudio del biogás captado en un relleno sanitario para su posible utilización como combustible primario en la generación de energía eléctrica,” vol. 7, no. 88, pp. 1170–1182, 2012.
- [50] W. J. C. Melis, S. K. Mallick, and P. Relf, “Increasing solar panel efficiency in a sustainable manner,” *ENERGYCON 2014 - IEEE Int. Energy Conf.*, pp. 912–915, 2014.
- [51] S. Nandy, “Theoretical Analysis of In-built Heat Extraction Mechanism to Maintain Electrical Efficiency of a Single Solar Cell (SSC) of Glass-Glass Type Photovoltaic (PV) Panel,” no. Iconce, pp. 19–23, 2014.
- [52] K. Trautz, P. Jenkins, R. Walters, D. Scheiman, R. Hoheisel, R. Tatavarti, R. Chan, H. Miyamoto, J. Adams, V. Elarde, C. Stender, A. Hains, C. McPheeters, C. Youtsey, N. Pan, and M. Osowski, “High efficiency flexible solar panels,” in *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 2013, vol. 2, pp. 115–119.
- [53] Corporación para la Investigación Energética, “Atlas solar del ecuador,” *Conelec*, pp. 1–51, 2008.
- [54] M. de E. y E. R. (MEER), “Atlas Eólico del Ecuador,” 2013.
- [55] M. Minango, “MODELO PARA EL ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LA FACTIBILIDAD DE MICROCENTRALES EÓLICAS PARA GENERACIÓN DISTRIBUIDA,” Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Kennedy, 2014.
- [56] M. de E. y E. R. (MEER), M. de Ambiente, CONELEC, and CENACE, “FACTOR DE EMISIÓN DE CO₂ DEL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO DEL ECUADOR AL AÑO 2011,” p. 19, 2011.
- [57] L. Gh, S. Orv, L. Gh, J. Gh, H. Lqyhuqdghur, Y. Uhylvdgd, and L. Gh, “Energía,” *Directrices del IPCC para los Inventar. Gases Ef. ilvernadero*, vol. 2, p. 22, 1996.

ANEXOS

ANEXO A
PROGRAMACIÓN DE LA MODELIZACIÓN DEL BIOGÁS DE UN
VERTEDERO, EFICIENCIA DE RECUPERACIÓN, Y GENERACIÓN
MÁXIMA DE POTENCIA CON BIOGÁS

```

clc;
clear;

syms VCH4 K M Lo ti tlag T1 T2 T3 T4 T5 Q Q1

VCH4 = input('Ingrese Valor de concentración de CH4 en el Biogás = ');

K = input('Ingrese Valor de K = ');
Lo = input('Ingrese Valor de Lo = ');
M = input('Ingrese Valor de M = ');
ti = input('Ingrese Valor de ti = ');
tlag = input('Ingrese Valor de tlag = ');
mm = input('Ingrese Valor de Precipitación anual = ');
PCI = input('Ingrese Valor de PCI del Metano = ');

efr00 = input('Ingrese eficiencia Recuperación Baja = ');
efr01 = input('Ingrese eficiencia Recuperación Media = ');
efr02 = input('Ingrese eficiencia Recuperación Alta = ');

efe00 = input('Ingrese eficiencia Máquina Motriz MCI = ');
efe01 = input('Ingrese eficiencia Máquina Motriz Ciclo Combinado = ');
efe02 = input('Ingrese eficiencia Máquina Motriz Microturbinas = ');

vacío = xlswrite('MatrizBiogas.xlsx',VCH4,1,'D4');
vacío = xlswrite('MatrizBiogas.xlsx',K,1,'D1');
vacío = xlswrite('MatrizBiogas.xlsx',Lo,1,'D3');
vacío = xlswrite('MatrizBiogas.xlsx',M,1,'D2');
vacío = xlswrite('MatrizBiogas.xlsx',ti,1,'D5');
vacío = xlswrite('MatrizBiogas.xlsx',tlag,1,'D6');
vacío = xlswrite('MatrizBiogas02.xlsx',mm,1,'B8');

vacio00 = xlsread('MatrizBiogas02.xlsx',2,'E8:E63');
VBiogas = vacio00

vacio01 = vacio00 * 0.5;
vacio02 = vacio00 * 0.75;
vacio03 = vacio00 * 0.85;

f1 = 0.0002777778;

%Pgen = PCIch4 * f1 * V * Y * n * VCH4

Pgen00 = PCI * f1 * VBiogas * efr00 * efe00 * VCH4;
Pgen01 = PCI * f1 * VBiogas * efr01 * efe00 * VCH4;
Pgen02 = PCI * f1 * VBiogas * efr02 * efe00 * VCH4;

Pgen03 = PCI * f1 * VBiogas * efr00 * efe01 * VCH4;
Pgen04 = PCI * f1 * VBiogas * efr01 * efe01 * VCH4;
Pgen05 = PCI * f1 * VBiogas * efr02 * efe01 * VCH4;

Pgen06 = PCI * f1 * VBiogas * efr00 * efe02 * VCH4;
Pgen07 = PCI * f1 * VBiogas * efr01 * efe02 * VCH4;
Pgen08 = PCI * f1 * VBiogas * efr02 * efe02 * VCH4;

x = ti : tlag;

figure(1)

```

```

plot(x,vacio),grid
title('BIOGÁS GENERADO')
xlabel('AÑOS')
ylabel('Q Nm3/h')

figure(2)
plot(x,vacio,'b',x,vacio01,'r',x,vacio02,'m',x,vacio03,'black'),grid
title('BIOGÁS GENERADO - BIOGÁS RECUPERADO')
xlabel('AÑOS')
ylabel('Q Nm3/h')
legend('B. Generado','B. Recup. (50%)','B. Recup. (75%)','B. Recup. (85%)')

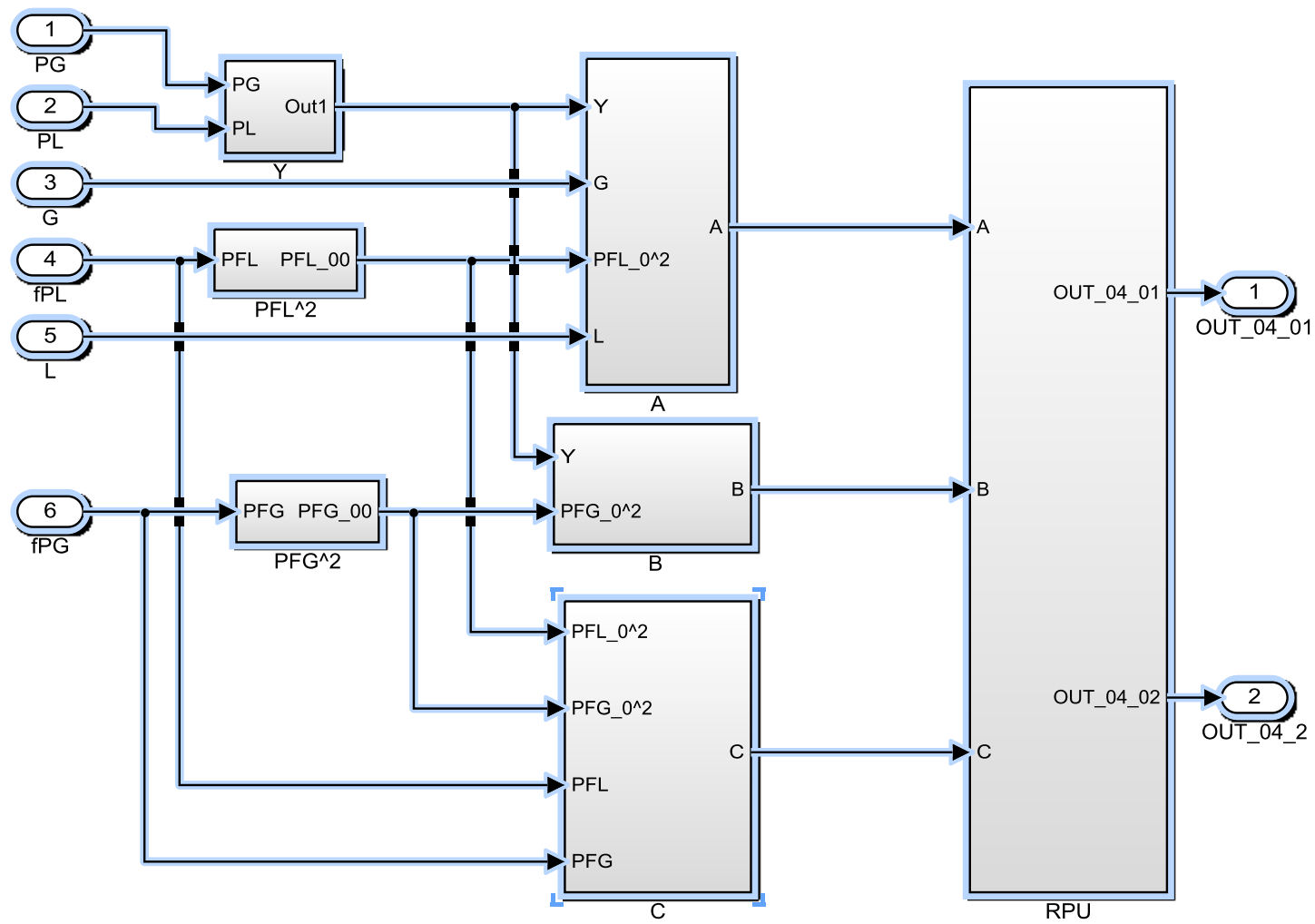
figure(3)
subplot(2,2,1)
plot(x,Pgen00,'r',x,Pgen01,'m',x,Pgen02,'b'),grid
title('GENERACIÓN MÁXIMA - MÁQUINA COMBUSTIÓN INTERNA')
xlabel('AÑOS')
ylabel('kWh')
legend('B. Recup. (50%)','B. Recup. (75%)','B. Recup. (85%)')

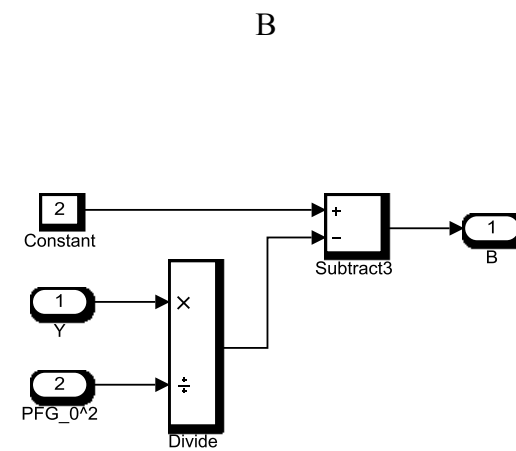
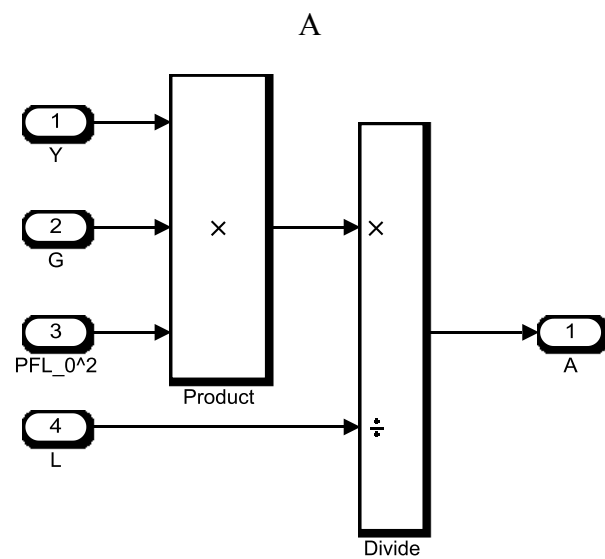
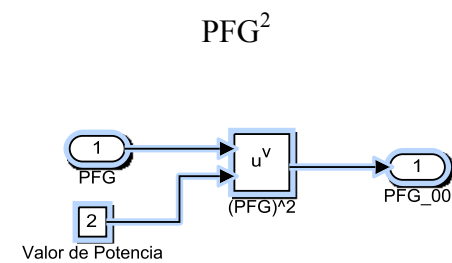
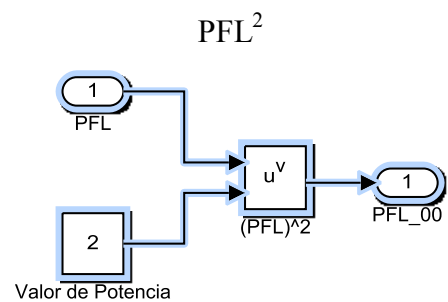
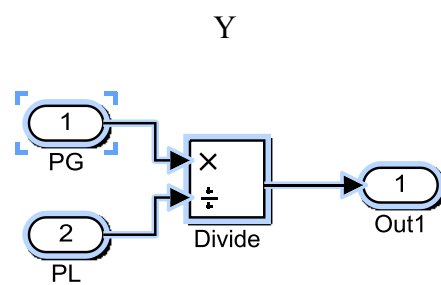
subplot(2,2,2)
plot(x,Pgen03,'r',x,Pgen04,'m',x,Pgen05,'b'),grid
title('GENERACIÓN MÁXIMA - CICLO COMBINADO')
xlabel('AÑOS')
ylabel('kWh')
legend('B. Recup. (50%)','B. Recup. (75%)','B. Recup. (85%)')

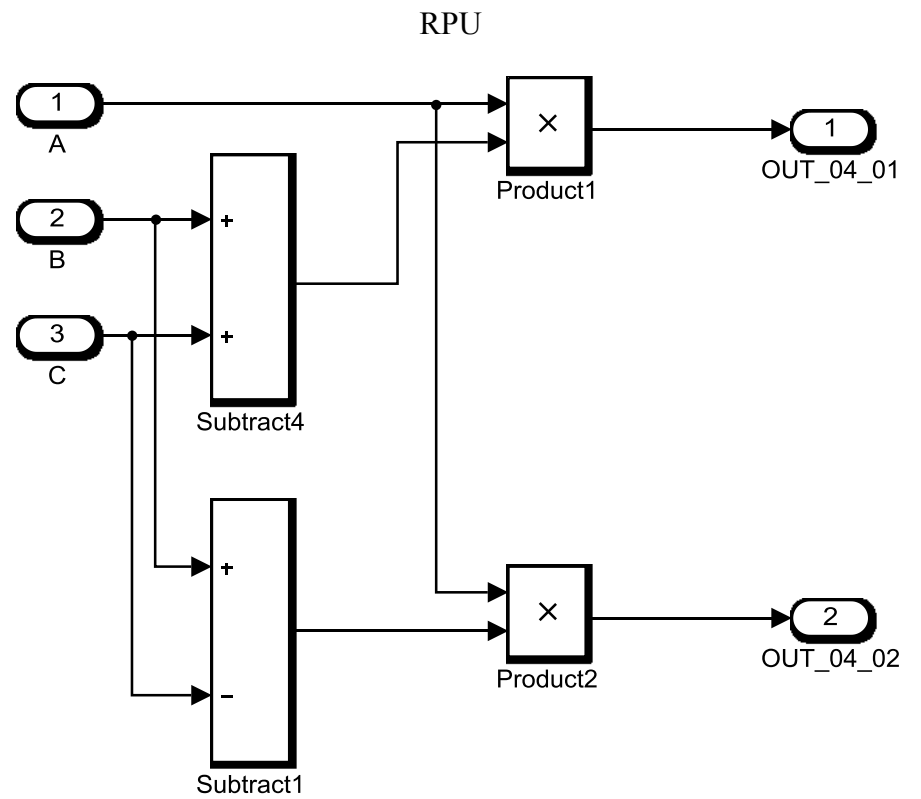
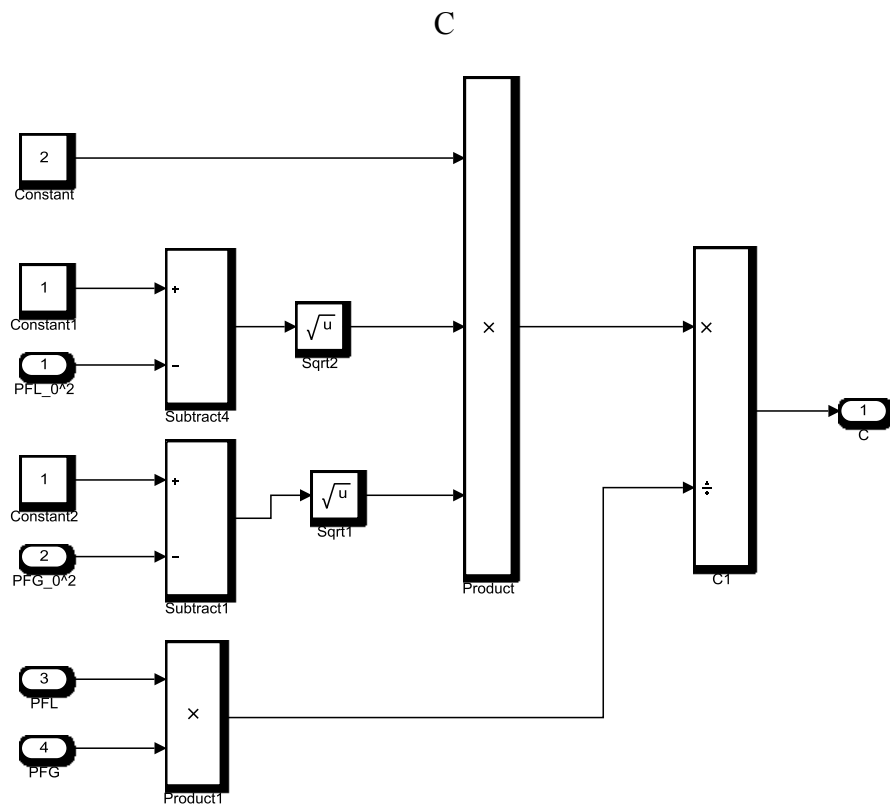
subplot(2,2,3)
plot(x,Pgen06,'r',x,Pgen07,'m',x,Pgen08,'b'),grid
title('GENERACIÓN MÁXIMA - MICROTURBINAS')
xlabel('AÑOS')
ylabel('kWh')
legend('B. Recup. (50%)','B. Recup. (75%)','B. Recup. (85%)')

```

ANEXO B
PROGRAMACIÓN GRÁFICA DE LA MODELIZACIÓN DE REDUCCIÓN DE
PÉRDIDAS EN LA LÍNEA







ANEXO C
CANTIDAD DE DIÓXIDO DE CARBONO EQUIVALENTE AL UTILIZAR
BIOGÁS

Tabla 4.7: Cantidad Equivalente de CO₂ por año al utilizar biogás como combustible

Año	Total Biogás Generado (Volumen)	Biogás Recuperado 50%	Biogás Recuperado 75%	Biogás Recuperado 85%	CH4 Generado (Volumen)	CH4 Generado 50% (Volumen)	CH4 Generado 75% (Volumen)	CH4 Generado 85% (Volumen)	CO2 Equivalente Toneladas	CO2 Equivalente 50% (Ton)	CO2 Equivalente 75% (Ton)	CO2 Equivalente 85% (Ton)
1995	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1996	751,13	375,56	563,34	638,46	375,56	187,78	281,67	319,23	3,04	0,76	1,71	2,20
1997	1452,17	726,09	1089,13	1234,35	726,09	363,04	544,56	617,17	11,38	2,84	6,40	8,22
1998	2106,48	1053,24	1579,86	1790,50	1053,24	526,62	789,93	895,25	23,94	5,98	13,47	17,30
1999	2717,15	1358,58	2037,87	2309,58	1358,58	679,29	1018,93	1154,79	39,83	9,96	22,40	28,78
2000	3287,12	1643,56	2465,34	2794,05	1643,56	821,78	1232,67	1397,03	58,29	14,57	32,79	42,12
2001	3819,08	1909,54	2864,31	3246,22	1909,54	954,77	1432,16	1623,11	78,69	19,67	44,26	56,85
2002	4315,58	2157,79	3236,68	3668,24	2157,79	1078,89	1618,34	1834,12	100,48	25,12	56,52	72,59
2003	4778,97	2389,48	3584,23	4062,12	2389,48	1194,74	1792,11	2031,06	123,21	30,80	69,31	89,02
2004	5211,46	2605,73	3908,60	4429,74	2605,73	1302,87	1954,30	2214,87	146,52	36,63	82,42	105,86
2005	5615,12	2807,56	4211,34	4772,85	2807,56	1403,78	2105,67	2386,43	170,10	42,52	95,68	122,90
2006	5991,87	2995,93	4493,90	5093,09	2995,93	1497,97	2246,95	2546,54	193,69	48,42	108,95	139,94
2007	6343,50	3171,75	4757,62	5391,97	3171,75	1585,87	2378,81	2695,99	217,09	54,27	122,11	156,85
2008	6671,68	3335,84	5003,76	5670,93	3335,84	1667,92	2501,88	2835,46	240,14	60,03	135,08	173,50
2009	6977,98	3488,99	5233,49	5931,29	3488,99	1744,50	2616,74	2965,64	262,69	65,67	147,76	189,79
2010	7263,86	3631,93	5447,90	6174,28	3631,93	1815,97	2723,95	3087,14	284,66	71,16	160,12	205,66
2011	7530,68	3765,34	5648,01	6401,08	3765,34	1882,67	2824,01	3200,54	305,95	76,49	172,10	221,05
2012	7779,71	3889,86	5834,78	6612,76	3889,86	1944,93	2917,39	3306,38	326,52	81,63	183,67	235,91
2013	8012,14	4006,07	6009,10	6810,32	4006,07	2003,03	3004,55	3405,16	346,32	86,58	194,81	250,22
2015	8229,07	4114,53	6171,80	6994,71	4114,53	2057,27	3085,90	3497,35	365,33	91,33	205,50	263,95
2015	8431,53	4215,77	6323,65	7166,80	4215,77	2107,88	3161,83	3583,40	383,53	95,88	215,74	277,10
2016	8620,50	4310,25	6465,38	7327,43	4310,25	2155,13	3232,69	3663,71	400,91	100,23	225,51	289,66

2017	8796,87	4398,43	6597,65	7477,34	4398,43	2199,22	3298,83	3738,67	417,49	104,37	234,84	301,63
2018	8961,48	4480,74	6721,11	7617,26	4480,74	2240,37	3360,55	3808,63	433,26	108,31	243,71	313,03
2019	9115,11	4557,56	6836,33	7747,85	4557,56	2278,78	3418,17	3873,92	448,24	112,06	252,13	323,85
2020	9258,50	4629,25	6943,88	7869,73	4629,25	2314,63	3471,94	3934,86	462,45	115,61	260,13	334,12
2021	9392,33	4696,17	7044,25	7983,48	4696,17	2348,08	3522,12	3991,74	475,92	118,98	267,70	343,85
2022	9517,24	4758,62	7137,93	8089,65	4758,62	2379,31	3568,97	4044,83	488,66	122,17	274,87	353,06
2023	9633,82	4816,91	7225,36	8188,75	4816,91	2408,45	3612,68	4094,37	500,71	125,18	281,65	361,76
2024	8991,50	4495,75	6743,63	7642,78	4495,75	2247,88	3371,81	3821,39	436,16	109,04	245,34	315,13
2025	8392,01	4196,00	6294,01	7133,21	4196,00	2098,00	3147,00	3566,60	379,94	94,99	213,72	274,51
2026	7832,48	3916,24	5874,36	6657,61	3916,24	1958,12	2937,18	3328,81	330,97	82,74	186,17	239,12
2027	7310,27	3655,13	5482,70	6213,73	3655,13	1827,57	2741,35	3106,86	288,30	72,08	162,17	208,30
2028	6822,87	3411,43	5117,15	5799,44	3411,43	1705,72	2558,58	2899,72	251,14	62,79	141,27	181,45
2029	6367,96	3183,98	4775,97	5412,77	3183,98	1591,99	2387,99	2706,38	218,77	54,69	123,06	158,06
2030	5943,39	2971,70	4457,54	5051,88	2971,70	1485,85	2228,77	2525,94	190,57	47,64	107,20	137,69
2031	5547,13	2773,56	4160,34	4715,06	2773,56	1386,78	2080,17	2357,53	166,01	41,50	93,38	119,94
2032	5177,28	2588,64	3882,96	4400,69	2588,64	1294,32	1941,48	2200,34	144,61	36,15	81,34	104,48
2033	4832,09	2416,05	3624,07	4107,28	2416,05	1208,02	1812,04	2053,64	125,97	31,49	70,86	91,01
2034	4509,92	2254,96	3382,44	3833,43	2254,96	1127,48	1691,22	1916,72	109,73	27,43	61,72	79,28
2035	4209,23	2104,62	3156,92	3577,85	2104,62	1052,31	1578,46	1788,92	95,59	23,90	53,77	69,06
2036	3928,59	1964,29	2946,44	3339,30	1964,29	982,15	1473,22	1669,65	83,26	20,82	46,84	60,16
2037	3666,65	1833,33	2749,99	3116,66	1833,33	916,66	1375,00	1558,33	72,53	18,13	40,80	52,40
2038	3422,19	1711,09	2566,64	2908,86	1711,09	855,55	1283,32	1454,43	63,18	15,80	35,54	45,65
2039	3194,02	1597,01	2395,51	2714,92	1597,01	798,50	1197,76	1357,46	55,04	13,76	30,96	39,76
2040	2981,06	1490,53	2235,80	2533,90	1490,53	745,27	1117,90	1266,95	47,94	11,99	26,97	34,64
2041	2782,31	1391,15	2086,73	2364,96	1391,15	695,58	1043,36	1182,48	41,76	10,44	23,49	30,17
2042	2596,80	1298,40	1947,60	2207,28	1298,40	649,20	973,80	1103,64	36,38	9,09	20,46	26,28

2043	2423,66	1211,83	1817,75	2060,11	1211,83	605,92	908,87	1030,06	31,69	7,92	17,83	22,90
2044	2262,07	1131,03	1696,55	1922,76	1131,03	565,52	848,28	961,38	27,61	6,90	15,53	19,95
2045	2111,25	1055,62	1583,44	1794,56	1055,62	527,81	791,72	897,28	24,05	6,01	13,53	17,37
2046	1970,49	985,24	1477,86	1674,91	985,24	492,62	738,93	837,46	20,95	5,24	11,78	15,13
2047	1839,11	919,55	1379,33	1563,24	919,55	459,78	689,66	781,62	18,25	4,56	10,26	13,18
2048	1716,49	858,24	1287,37	1459,01	858,24	429,12	643,68	729,51	15,90	3,97	8,94	11,48
2049	1602,04	801,02	1201,53	1361,74	801,02	400,51	600,77	680,87	13,85	3,46	7,79	10,00
2050	1495,23	747,61	1121,42	1270,95	747,61	373,81	560,71	635,47	12,06	3,02	6,78	8,71

Fuente: AUTOR